第Ⅴ章　収穫期間がアスパラガスの生産性および根部貯蔵糖類の特性に及ぼす影響

第1節　収穫期間が生育および収量に及ぼす影響

第Ⅱ章で述べたように，北海道ではアスパラガスの収量低下がみられるが，この収量低下要因として土壌環境の悪化，地上部茎葉部の病害の蔓延および過度の収穫が考えられている．これら要因のうち土壌の改良法については第Ⅱ章第3節に示した．また，病害の対策としては防除の徹底が指導されてきてはいるが，同時に衰弱した作物体に対する適切な栽培管理をおこなうことが重要である．過収穫や病害などで衰弱したアスパラガスは，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とますます衰弱を助長することが懸念される．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，本節では北海道各地で5ヶ年間にわたり，収穫日数の長短がアスパラガスの生育および生産性に及ぼす影響を検討した．

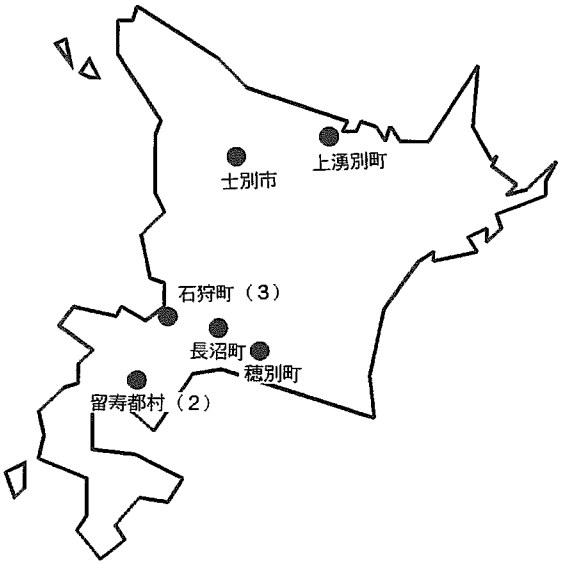

図5－1　収穫処理試験地の位置

方　　法

北海道各地のアスパラガスの主要産地，6地域，9圃場に試験圃場を設置した（図5－1）．各試験地の栽培概況および試験調査期間等は表5－1のとおりである．それら試験地に収穫期間処理を以下の4段階設定した．(1)40日間収穫区（慣行収穫期間より20日間短縮），(2)50日間収穫区（慣行収穫期間より10日短縮），(3)60日間収穫区（慣行収穫期間），(4)70日間収穫区（慣行収穫期間より10日間延長）．なお，慣行収穫期間は地域により52～60日間の幅があったが，ここでは便宜上60日間と呼称した．収穫期間処理は留寿都を除いて1989年に開始し，4～5年間にわたって継続して行った．処理はすべて2反復でおこなった．

調査は収量，茎葉生育量について毎年行った．茎葉生育量（GI：Growth Index）は，平均草丈（cm）×平均茎径（cm）×畦1m当たり茎数として表した．これら茎葉生育量の調査は地上部の生育が停止した越冬直前[20]に行った．各試験地の栽培および施肥管理等は慣行に準じて行った．

結　　果

試験年ごとの各試験地の収量は各地とも収穫期間の長短に左右され，処理開始当初では収穫期間が短くなると

表5－1　収穫期間処理試験地と栽培概要

試験地	定植後年数(1989年時)	栽培様式	品　　種	慣行収穫日数	処理期間	土　壌　型
農試圃場	13年目	グリーン	メリーワシントン500W	60日間	1989～1993年	褐色低地土
留寿都A	13年目	グリーン	メリーワシントン500W	52日間	1989～1991年	ローム質褐色火山性土
留寿都B	4年目	グリーン	ポールトム	52日間	1990～1992年	ローム質褐色火山性土
穂別	6年目	ホワイト	メリーワシントン500W	55日間	1989～1993年	放出物未熟土
士別	4年目	ホワイト	メリーワシントン500W	60日間	1989～1992年	酸性褐色森林土
上湧別	8年目	グリーン	メリーワシントン500W	58日間	1989～1992年	暗色表層褐色低地土
石狩A	5年目	グリーン	HLA－5	60日間	1989～1992年	褐色低地土
石狩B	5年目	グリーン	UC－157	60日間	1989～1992年	褐色低地土
石狩C	5年目	グリーン	メリーワシントン500W	60日間	1989～1992年	褐色低地土

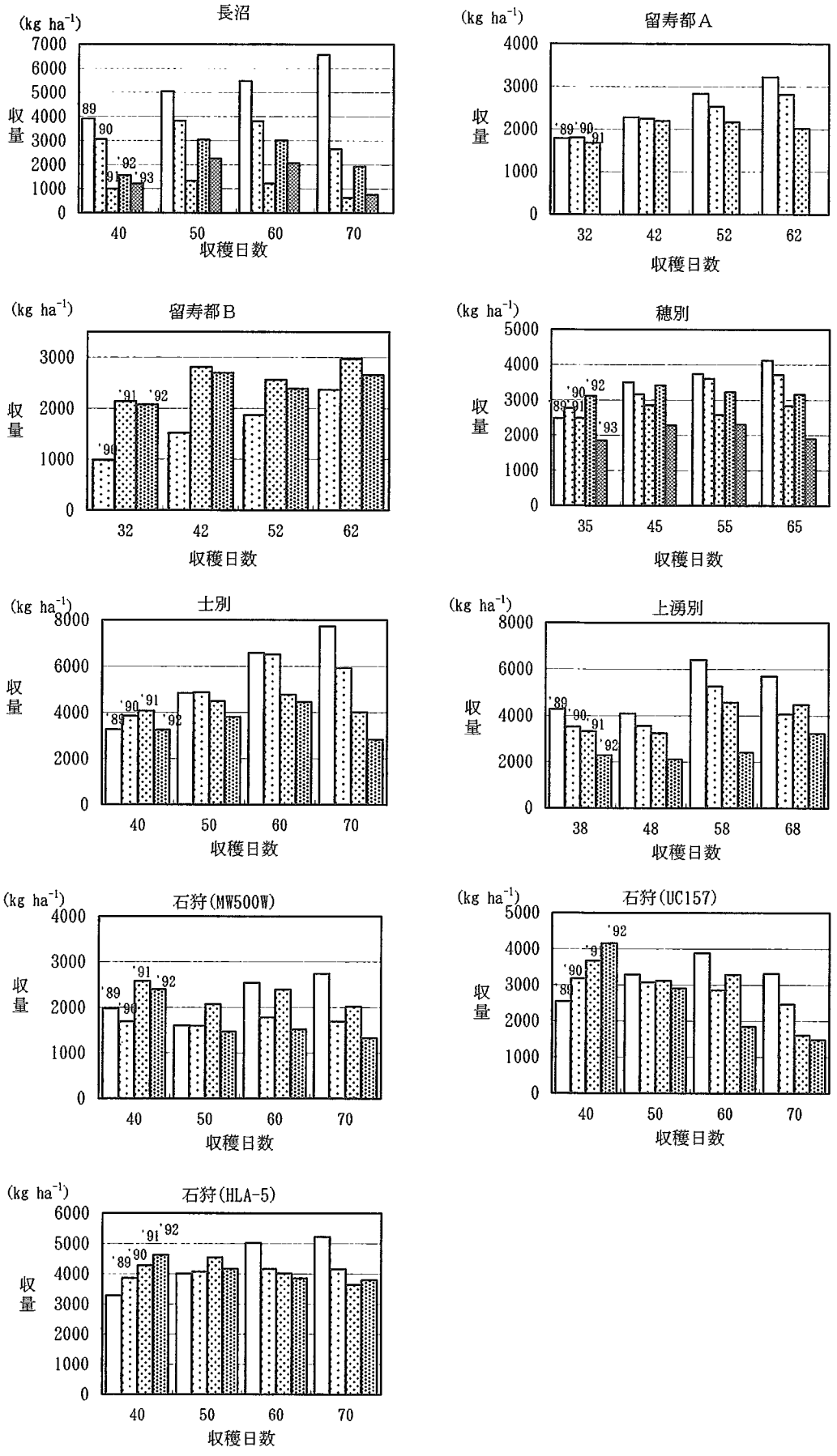

図５－２　収穫期間処理が各試験地の収量の推移に及ぼす影響

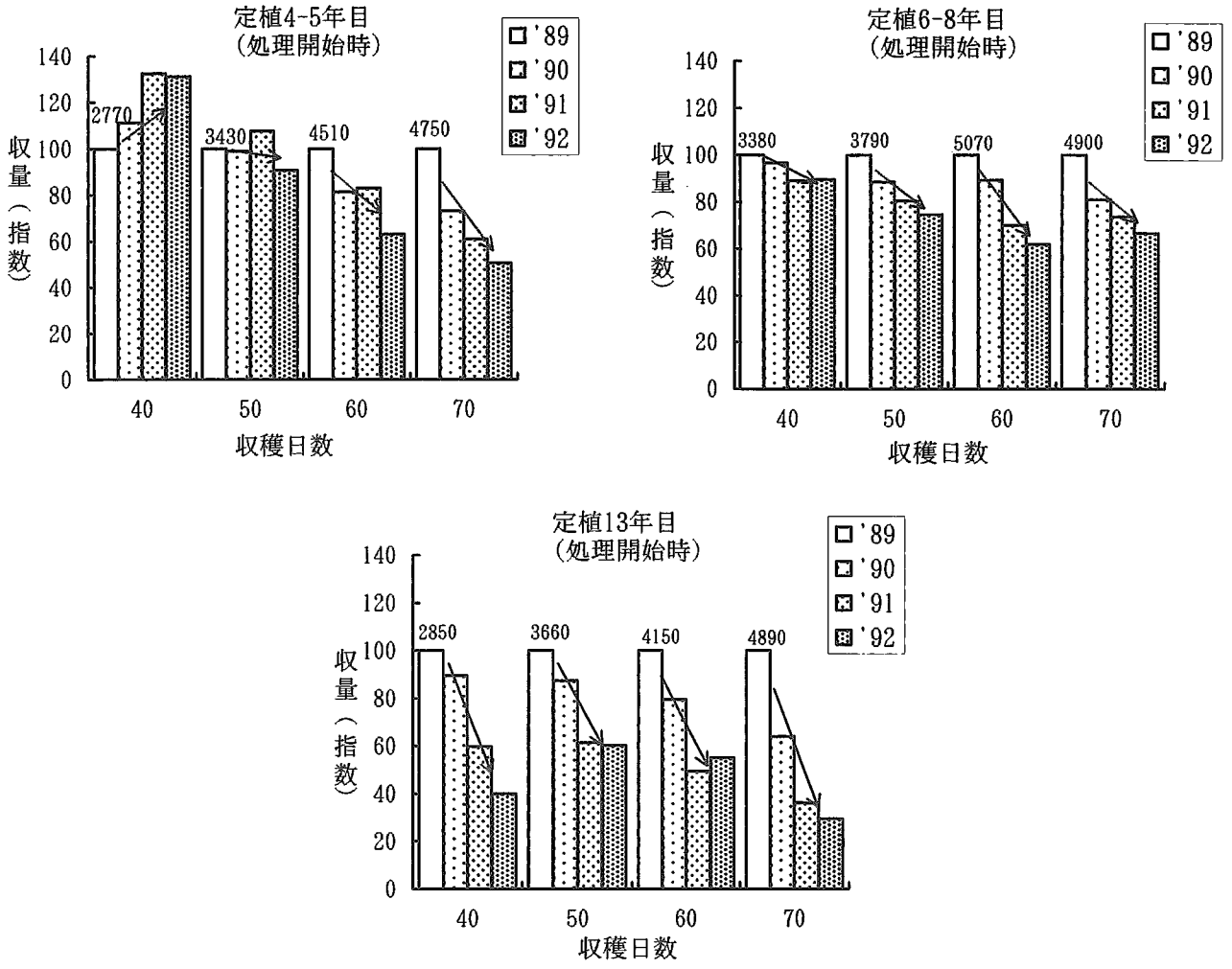

図5－3　収穫期間処理が定植年次別収量の推移に及ぼす影響
(1989～1992年，1989年の数値は実数kg ha^{-1})

低く，延長されると高くなったが，年次の経過にともない長期収穫処理は急速に減収する傾向にあった（図5－2）．全体の傾向を明確にするために，各試験圃場を定植後経過年数別に4～5年目，6～8年目，13年目の3グループに分けた．各グループごとに各年次の収量を平均し，初年目の各処理区の収量を100とした指数で表し，その推移を図5－3に示した．定植経過年数のグループ別に比較すると，収量の推移に差が認められ，比較的新しい定植後4～5年目（1989年時）の圃場では収穫期間が40日間では経過年数とともに増加したが，50日間ではほぼ一定，60日以上だと減少した．定植後6～8年目の圃場と13年目の古い圃場ではすべての処理で収量は年次の経過とともに減少する傾向にあり，特に定植後の年数が13年と非常に経過しているほど減少の程度は著しかった．

収穫若茎の品質の目安である平均一茎重は，収量の様に定植後経過年数間に傾向の差が認められなかったため(図5－4)，全圃場をすべて平均して図5－5に示した．この平均一茎重は，処理当年は収穫期間処理による差はなかったが，2年目の1990年以降は収穫期間が長いほど一茎重がより小さくなる傾向を示し，収穫期間の長期化は一茎重の大きい規格品率の低下をもたらした．

次に各試験地の秋季の生育指数（GI）と全圃場をすべて平均したものをみると，GIは収穫期間が短い処理ほど大きく（図5－6），全処理区とも年々減少する傾向にあったが，収穫期間が長くなるほどより急速に減少した（図5－7）．

考　　察

第Ⅱ章で述べたように，北海道におけるアスパラガスの単位面積当たりの収量は1981年頃から減少しつつあり[68]，その収量低下要因については地上部病害の蔓延[33]

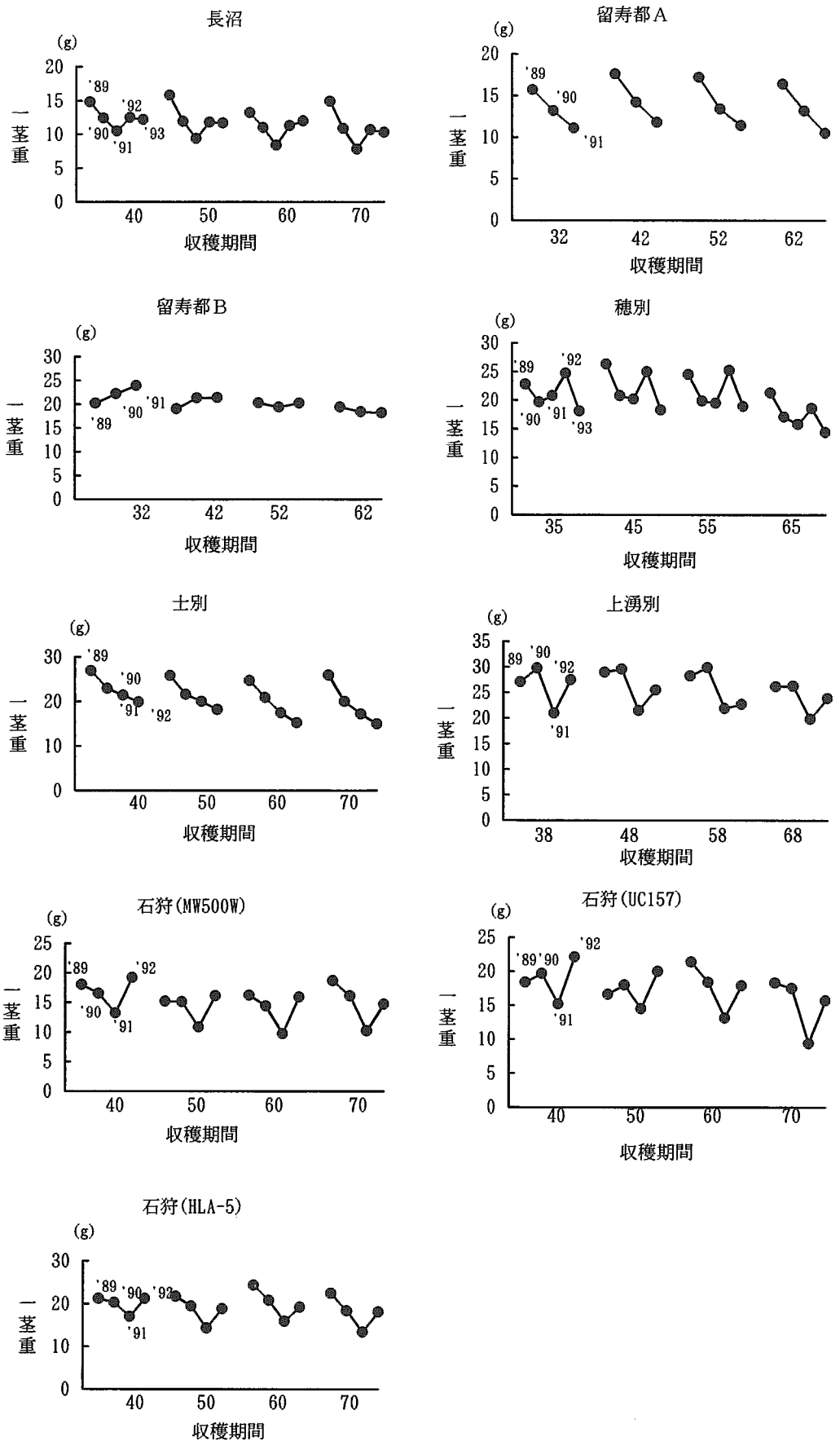

図5－4　収穫期間処理が各試験地の一茎重の推移に及ぼす影響

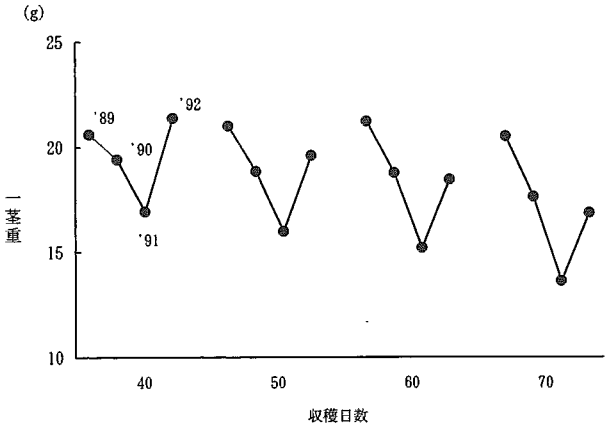

図５－５　収穫期間処理が一茎重の推移に及ぼす影響（全試験地平均）

および過度の収穫が要因と考えられてきている．病害の対策としては防除の徹底が指導されてきてはいるが，同時に衰弱した作物体に対する適切な栽培管理をおこなうことが重要である．

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[20]．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，収穫期間を短くすると収量は直接的に低下する．しかしながら，高い収量を得ようと収穫期間をいたずらに延長すると，その後の茎葉の生育開始が遅れ，光合成期間が短くなり，根部への貯蔵糖類が減少すると考えられる．

試験期間中の収量は各地とも，処理開始当初では収穫期間が短くなると低く，延長されると高くなった（図５－２）．これは試験開始前年までは全処理区とも慣行の収穫期間で同一だったため，単純に収穫期間と収量が比例していたと考えられる．処理２年目以降は初年目とは異なる傾向を示す圃場がみられるようになり，その傾向を考察すると定植後の経過年数によりいくつかのグループに分けられると考えられた．すなわち，1989年当時の定植後年数で４～５年目，６～８年目，13年目の３グループに分け，各グループごとに各年次の収量を平均した（図５－３）．比較的新しい定植後４～５年目の圃場では収穫期間が40日間では経過年数とともに増加したが，50日間ではほぼ一定，60日以上だと減少した．定植後６～８年目の圃場では収穫期間が40日間ではわずかに収量が減少する傾向にあったが，収穫期間が長くなるに従い低下傾向は著しくなった．さらに，経過年数が13年の圃場はすべての処理区で減少の程度は著しかった．

アスパラガスは永年性作物であり，その寿命は10～20年ほどといわれているが，40年以上という記録もある[118]．その生育期間中の収量の変遷は定植後６，７年までは増加し，その後一定値で推移し，その後低下し，経済生産ができなくなり廃耕になるといわれている[119]．定植間もないグループでは収量が増加する期間に相当すると考えられるが，収穫期間が60日間以上になると，収穫後の茎葉繁茂期が短くなり，十分に根へ貯蔵糖類が集積されなかったものと思われる．定植後６～８年のグループでは収量が一定値の時期だが，収穫期間が50日間で低下しており，13年目ではいずれの処理区でも低下している．これらのことは北海道で収量が低下していることの反映でもある．かつては収穫期間が60日程度では収量低下が起こらなかったといわれているが，現在では収穫期間を短くしなければ収量の維持が困難になってきているといえる．そしてその傾向は定植後の年次が経過するほど著しく，それは根群の拡大が第Ⅱ章で述べたように土壌物理性などの阻害要因によって充分なされていないことも一因と考えられる．

収穫若茎の品質の目安である平均一茎重の推移は，２年目以降では収穫期間が長いほど一茎重が小さくなる傾向を示した（図５－５）．収穫期間と若茎重の関係について既往の報告は見つからないが，一般にアスパラガスの収量と若茎重とは関係があるといわれ，詳細は次で考察する．いずれにしても収穫期間の長期化は商品価値の高いＭやＬ規格の減少を招いていた．

次に全試験地の秋季の生育指数（GI）の平均値の推移をみると，収穫期間が短い処理ほど大きく，収穫期間が長くなるほどより急速に減少した（図５－７）．したがって，収穫期間の延長は茎葉の生育度を大きく抑制することが明らかとなった．従来から，前年の茎葉生育量と当年の若茎収量との間に正の相関があるといわれ[15]，北海道でも茎葉の生育と翌年の収量とは密接な関係があるという報告も多くある[30,120,121,126]．このGIは単位面積あたりの茎葉乾物重と非常に高い正の相関関係があるため[1,89]，GIは茎葉乾物重そのものとも考えられる．収穫期間が長くなるとその長さに比例してGIが低下するということは，収穫期間の延長は茎葉繁茂期間が短くなることだけにとどまらず，茎葉そのものの量が減少する事をあらわしている．本試験と同様に，収穫期間の長さと茎葉生育期間が相互に影響し合い[6]，収穫期間の短長は若茎収量のみならず，その後の茎葉生育量にも影響を及ぼすという報告もなされており[86]，収穫期間の延長は光合成の場である茎葉量と光合成期間である茎葉繁茂期の両方を減少させているといえる．収穫期間が延長されたアスパラガスは若茎の萌芽，生長に多くの根の貯

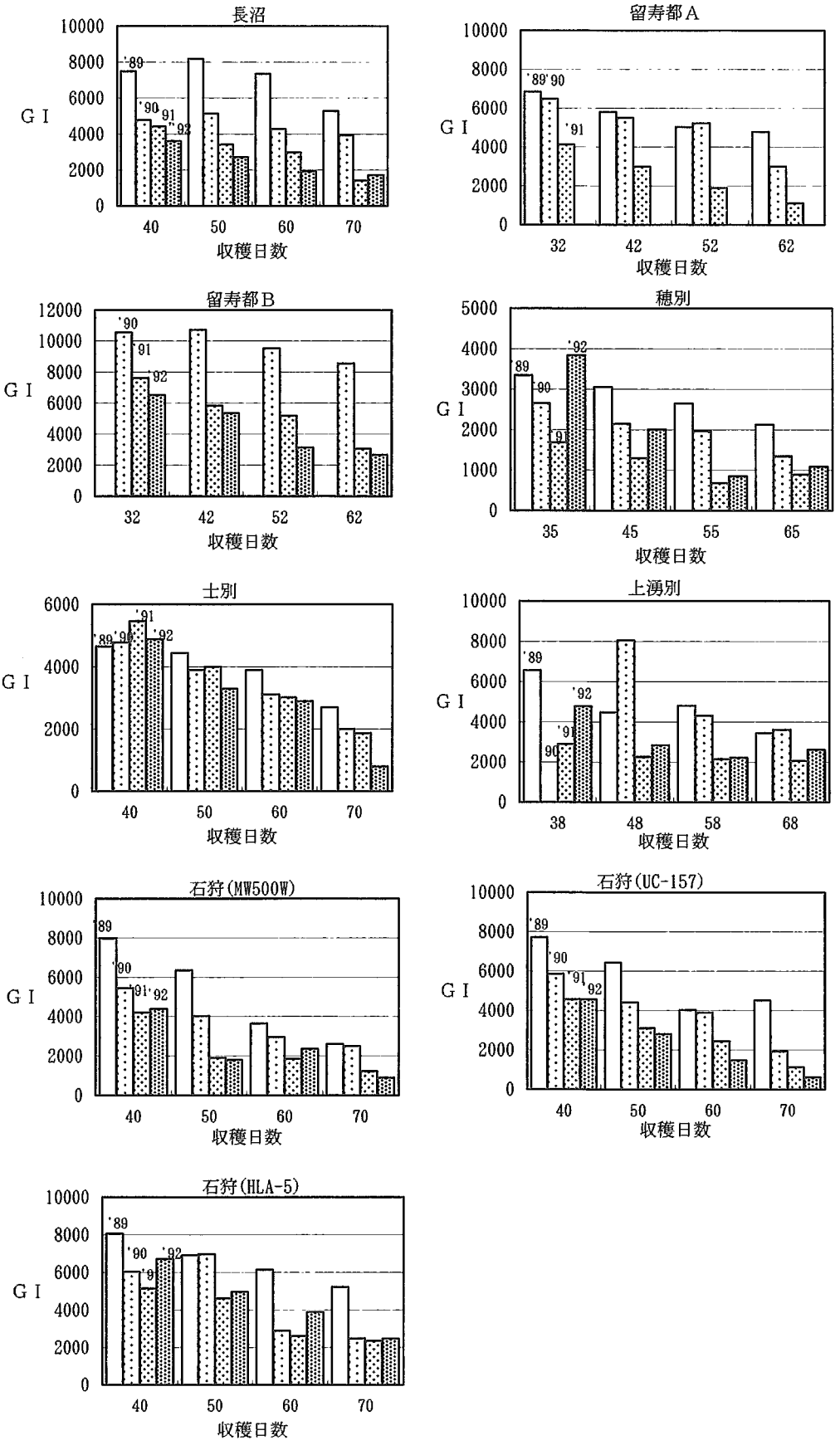

図5－6　収穫期間処理が各試験地の生育指数（GI）の推移に及ぼす影響

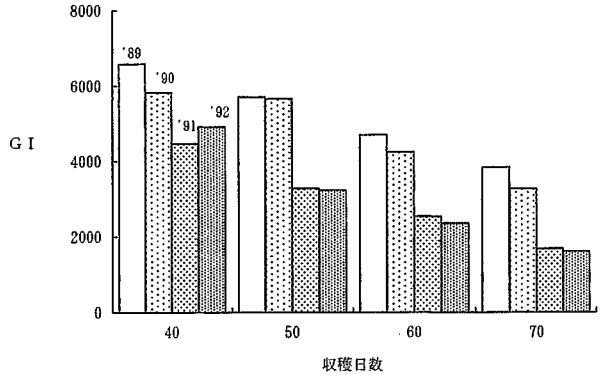

図5－7　収穫期間処理が生育指数（GI）の推移に及ぼす影響（全試験地平均）

蔵糖類を消費し，その結果，収穫が終わり光合成のための茎葉を繁茂するときには十分に茎葉を生育させるための根の貯蔵糖類が消耗してしまっていると考えられる．

第2節　収穫期間が若茎の糖含有率特性に及ぼす影響

若茎のBrix値，養分含有率特性は第Ⅲ章，第3節で述べたが，ここでは品種，収穫期間の変動に伴う若茎の糖含有率及び成分特性を詳細に検討した．

方　法

調査は前節の試験地の内，3品種について試験を行っている石狩試験地について実施した．調査年は収穫期間処理3年目の1991年におこない，供試品種はHLA-5，UC157およびメリーワシントン500W（MW500W）である．糖含有率の分析は収穫期間を3期に分け，5月28日，6月16日，7月6日に採取した若茎についておこなった．また，部位および若茎の太さによる変動をみるために部位と規格を区別して糖含有率を測定した．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．若茎の規格は，Lサイズが20g以上，Mが13～20g，Sを8～13gとした．

収穫若茎は急速凍結し，凍結乾燥した後，微粉砕サンプルとし，80%熱エタノールで抽出した．エタノールをロータリーエバポレーターで除去後，除蛋白をおこない糖の定量に供した[70]．若茎の糖の定量は高速液体クロマトグラフィー（HPLC）を用いておこなった．供試したカラムはShodex Ionpak KS801（8㎜ϕ×300㎜　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1.0mL min^{-1}，カラム温度80℃，移動相として水を用いた．

結　果

分析の結果，若茎から検出された糖はフルクトース，グルコースおよびスクロースのみであり，フルクトースが最も多く，次いでグルコースであり，スクロースは最も少なかった．まず，採取部位が若茎の糖含有率に及ぼす影響をみると，基部が最も高く，次いで中位，先端は最も低かった（図5－8）．つまり若茎の上部になればなるほど糖含有率は低下した．なお，採取時期は中間に当たる6月16日，規格はM，収穫期間は50日と60日の処理のものを用いた．次に部位別の糖組成割合は中位と基部では糖の割合はフルクトース，グルコース，スクロースの順で，スクロースの割合は非常に少なかったが，先端部ではフルクトースの割合は変わらなく多いものの，グルコースの割合が減り，スクロースの割合が多かった（図5－9）．さらに，糖含有率とBrix値の関係を部位別

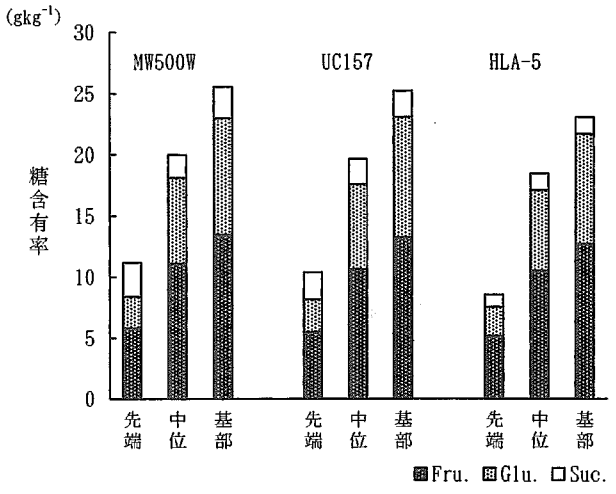

図5－8　採取部位が若茎の糖含有率に及ぼす影響

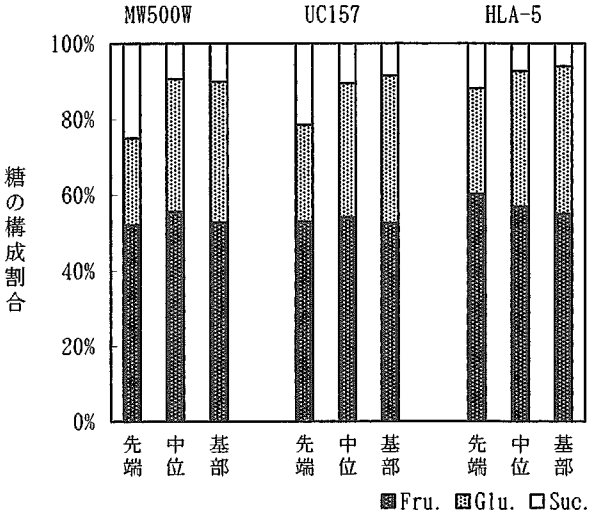

図5－9　若茎の採取部位別糖構成割合

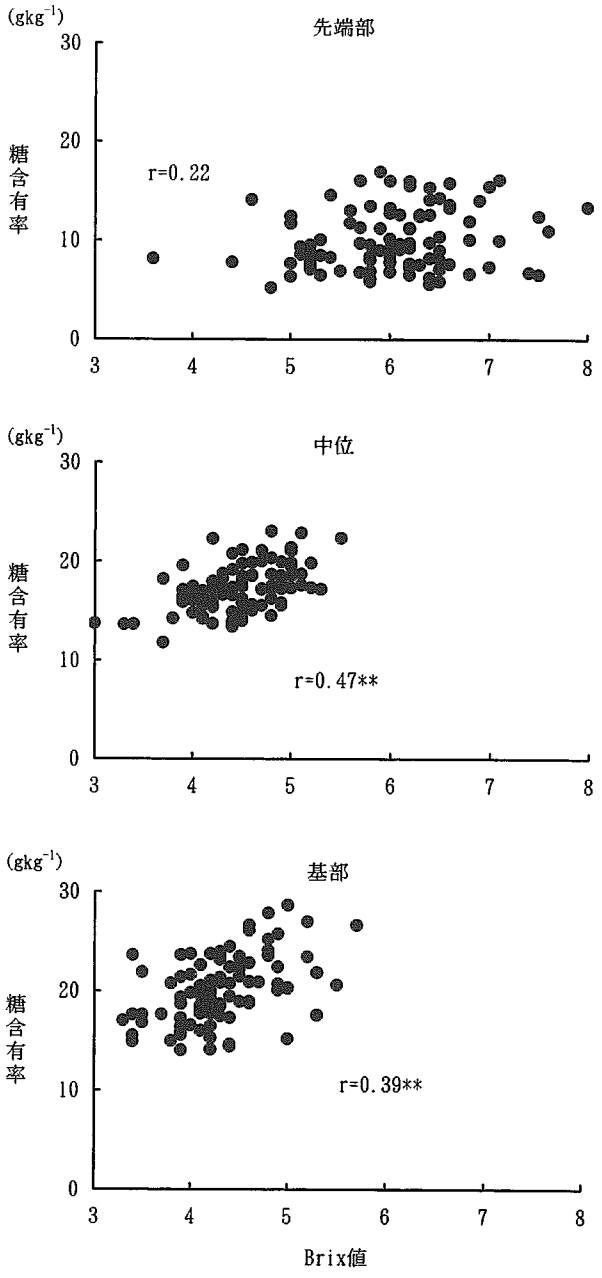

図5－10　若茎におけるBrix値と糖含有率との関係

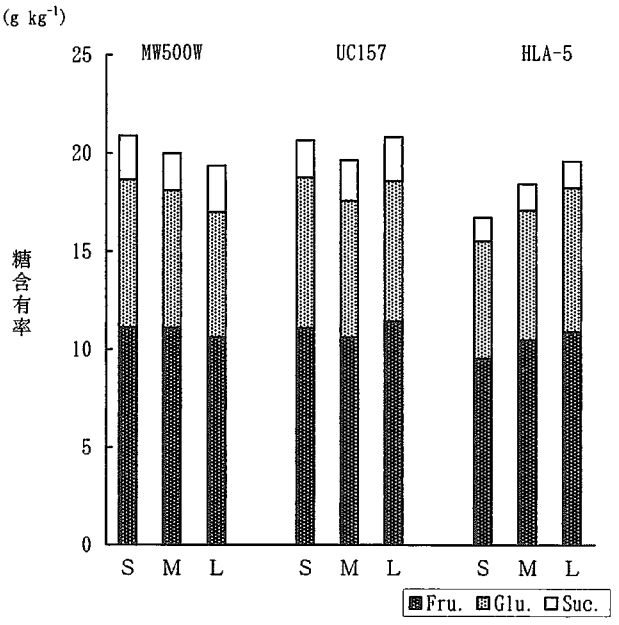

図5－11　若茎の規格が糖含有率に及ぼす影響
（S：8-13g，M：13-20g，L：20g-）

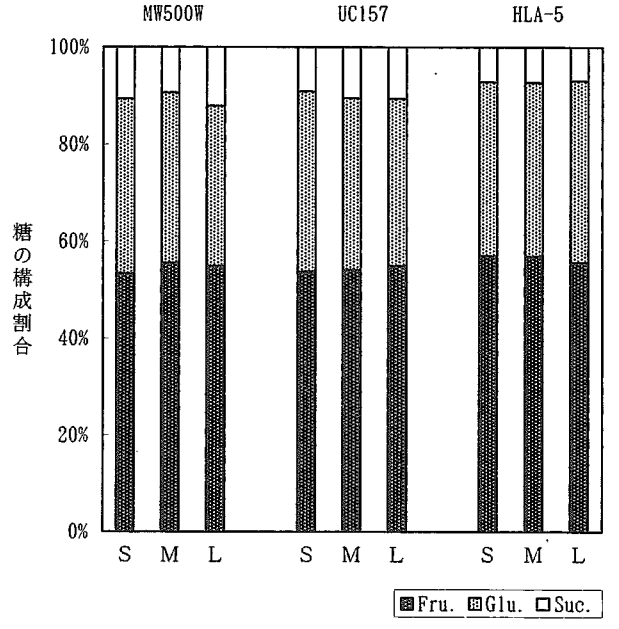

図5－12　若茎の規格別糖構成割合
（S：8-13g，M：13-20g，L：20g-）

にみると，正の有意な相関が得られたのは中位と基部で，それぞれ0.47と0.39だったが，先端部では関係が認められず，糖含有率が低いにも関わらず，Brix値が高い場合が多くみられた（図5－10）．

規格別の糖含有率は品種により糖含有率が異なり，MW500Wは規格が大きいほど，HLA-5は規格が小さいほど糖含有率は低かった（図5－11）．規格別糖組成割合は明確な相違がみられなかった（図5－12）．なお，採取時期は6月16日，部位は中位，収穫期間は50日と60日の処理のものを用いた．

収穫期間処理が糖含有率に及ぼす影響を収穫時期別，品種別に図5－13に示した．規格はM，部位は中位のものを用いた．全体を通して，糖含有率はMW500Wが高く，UC157，HLA－5の順だった．また，全品種とも収穫前期である5月28日が高く，収穫中期，後期には低下した．収穫期間処理ごとにみるとMW500Wの6月16日以外は収穫期間が長くなるほど若茎の糖含有率は低下する傾向にあった．しかしながら，糖組成割合には明確な相違がみられなかった（図5－14）．

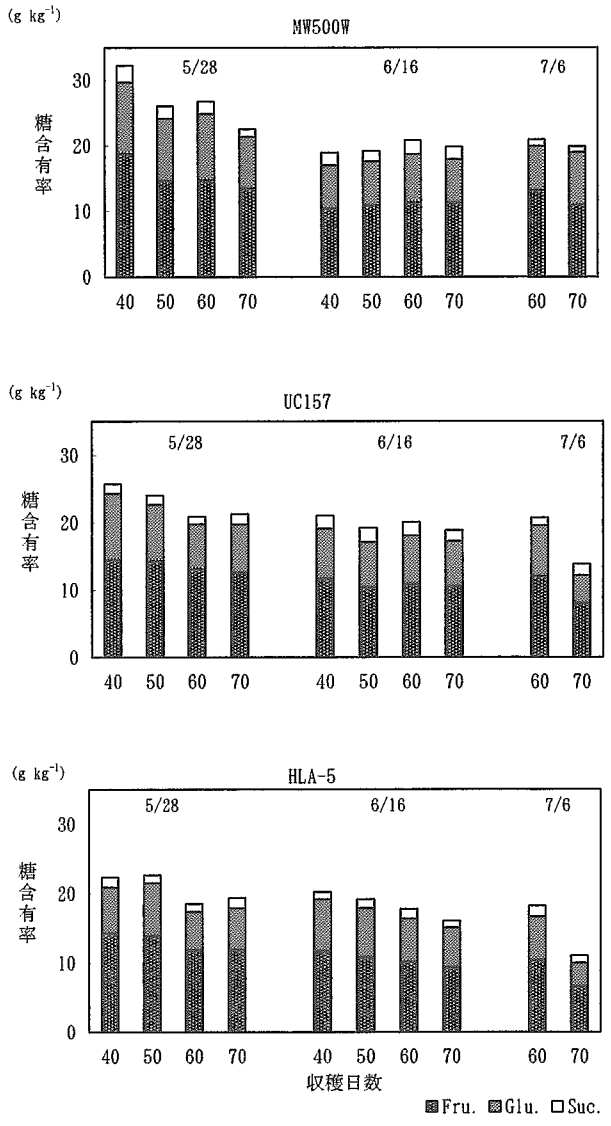

図５－13　収穫期間が若茎の糖含有率に及ぼす影響

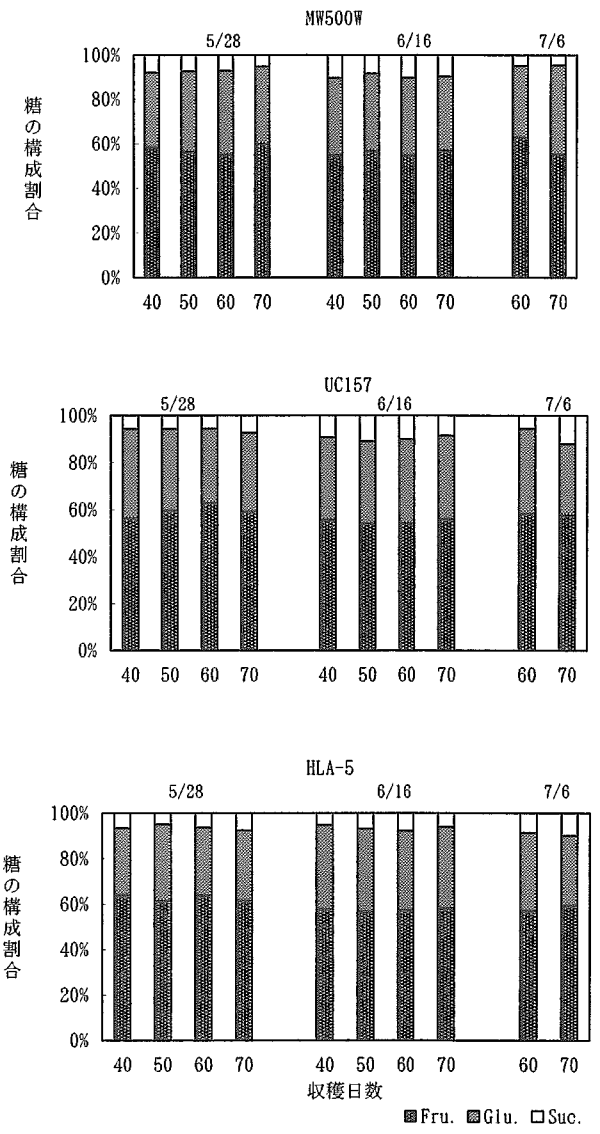

図５－14　若茎の収穫期間別糖組成割合

考　　察

アスパラガス若茎の品質特性については，第Ⅲ章で可溶性固形物含有率であるBrix値の調査結果について述べたが，本試験ではそのBrixを構成する糖の組成について検討を加えた．

採取部位では先端になるほど糖含有率は低下しており（図５－８），Brix値とは全く逆の傾向を示し，鈴木らも同様の結果を得ている[93]．この両者の関係も正の有意な相関は中位と基部のみで認められたものの（図５－10），その相関係数は小さく，Brix値をもってアスパラガス若茎の糖含有率を推定することは不可能と考えられた．若茎は成長が旺盛な部位であり，可溶性のアミノ酸や有機酸などの固形物が多いために果実のようにBrix値が糖含有率とは一致しなかったと考えられる．またこのことは，最も成長が盛んな先端部で顕著に認められることからも推察される．さらに糖の構成割合をみると先端部ではスクロースの割合が高く（図５－９），フルクタンを貯蔵糖とするアスパラガスのような植物はスクロースを転流糖とするといわれており[72]，若茎成長のため根から転流されてくる糖がスクロースならば，この成長部位でスクロースが単糖のグルコースとフルクトースに分解されているものと考えられた．

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が[57]，本試験でも同様であり，収穫時期が後期になるほど若茎の糖含有率は低下する傾向にあった（図５－13）．

さらに，収穫期間が長くなるほど若茎の糖含有率は低下する傾向にあり，この傾向は収穫全期間を通して認められ，前年までの収穫期間処理が若茎の糖含有率に著しく影響を与えていることが明らかとなった．収穫期間を

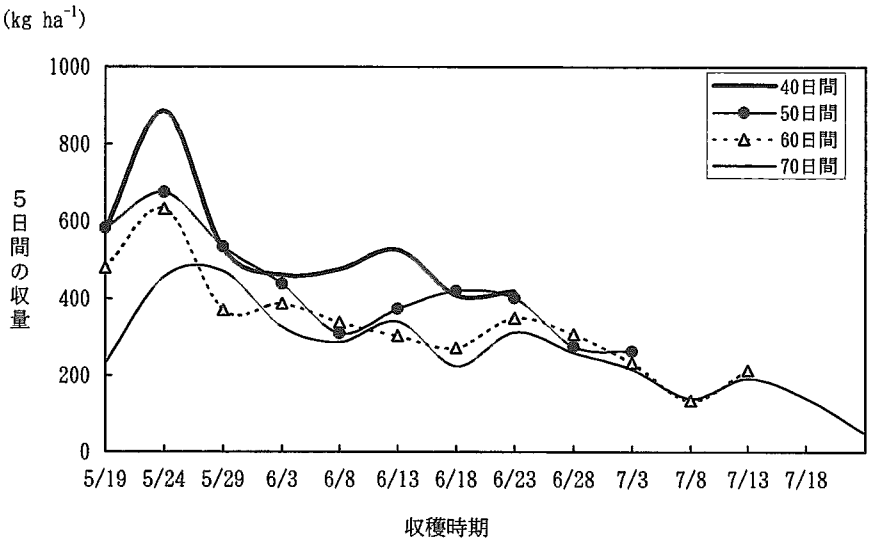

図5－15　収穫期間処理3年目における収量の推移（HLA－5）

長期化させることは収量そのものも低下させることは前述したが，若茎の糖含有率の低下という品質面での悪化も招いていることが明らかとなった．また，このときの糖組成割合には処理の影響は認められず，糖代謝までは影響を与えてはいなかった．

若茎の生産性と糖含有率の関係を明らかにするために，5日間ごとの収量の推移をHLA－5の例をとって図5－15に示した．収量は収穫期間処理で一定の傾向を示し，いずれの時期においても，収穫期間が長い処理ほど収量が低かった．また，どの処理区も収穫前期ほど収量は多かったが，その傾向は収穫期間が短いほど顕著であった．このことは収穫期間を延長しても後期の収量は少なく，翌年の最も多い前期収量も望めなくなることを示しており，結局，収穫期間の延長は合計収量の低下を招いていると言える．

つぎに，収量性と糖含有率の関係をみるために，若茎の糖含有率測定5日までの積算収量とそのときの糖含有率との関係を図5－16に示した．いずれの品種でも正の相関が認められ，生産性が高い場合には糖含有率も高いことが認められた．これは若茎を数多く萌芽させる状態の株では根から転流する糖類も多く，若茎の糖含有率も高まると考えられる．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ているが[43,63,67,107,131]，一旦同化産物を貯蔵器官に蓄え，その後それを利用して収穫部位が生長するアスパラガスの場合は，高い生産性は品質の向上に結びついている考えられる．また，品種によりその回帰直線は異なっており，この反応には品種間差があると考えられた．品種により収量性は異なっており，供試した3品種の中では，HLA-5が最も収量は高く，

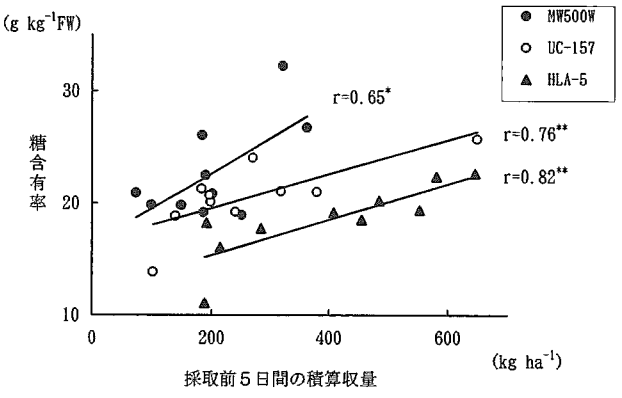

図5－16　若茎の収量性と糖含有率の関係

ついでUC157，MW500Wだった（図5－2）．若茎の糖含有率の傾向は収量性と逆の傾向を示しており，同一品種内と品種間では生産性と品質の関係は異なる傾向にあった．このことは品種の特性として今後明らかにする必要があると考えられた．

第3節　収穫期間が根量および根部の糖類集積に及ぼす影響

前節までは収穫期間が茎葉の生育，収量および若茎の糖含有率に及ぼす影響を検討したが，ここでは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を検討した．

方　　法

前々節に示したように1989年から収穫期間を4処理継続しておこなった6地域，9圃場について，毎年越冬直前である晩秋に根の一部をサンプリングし，Brix値を測

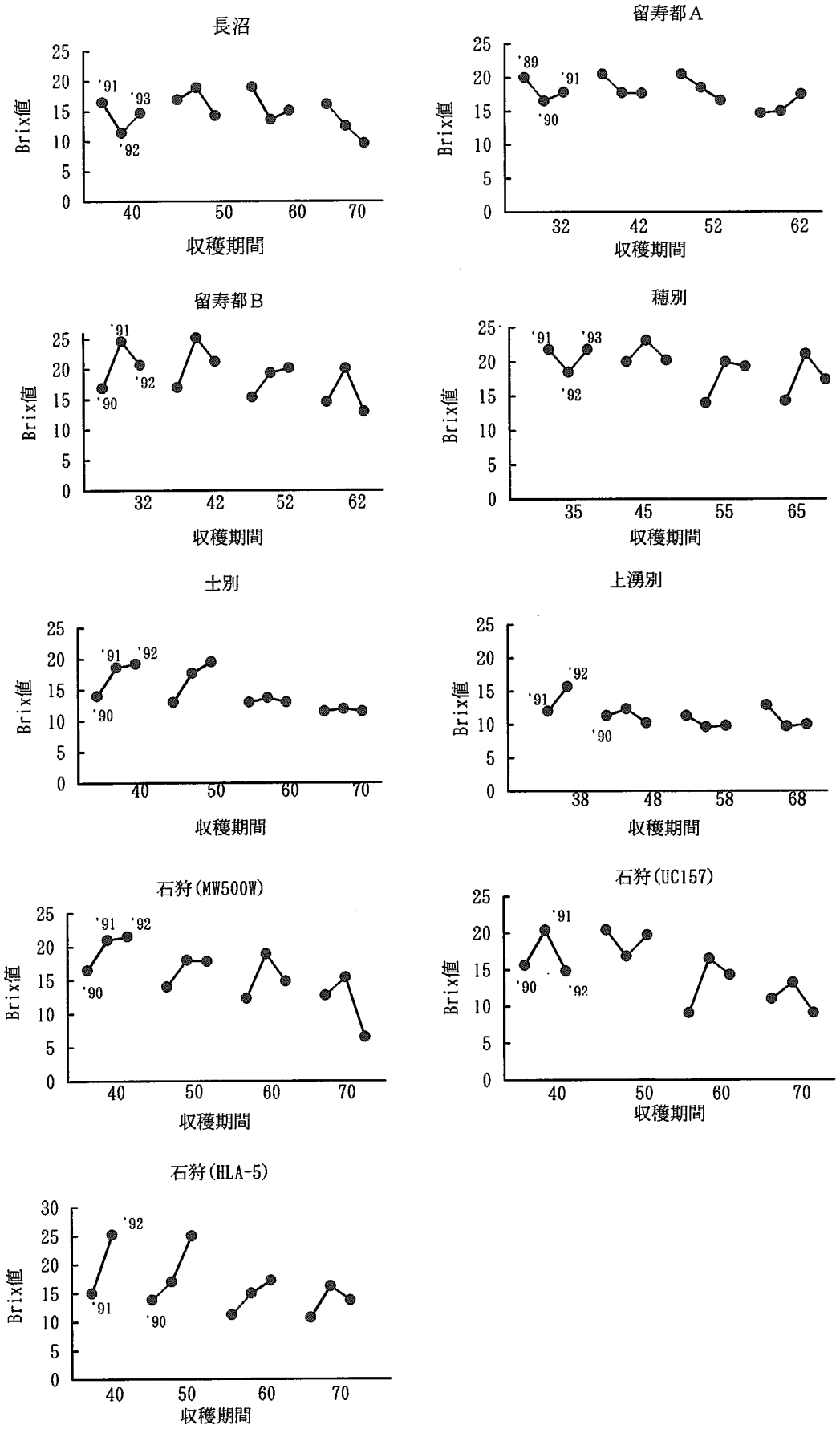

図5－17　収穫期間処理が各試験地の根Brix値の推移に及ぼす影響

定した．さらに，試験最終年度である1992年もしくは1993年の秋に，第Ⅲ章，第1節でおこなったように縦（畦方向）の長さを4株分，横幅を畦幅，深さ60～80cmの立方体に土壌を切り取って，根部を採取した．この採取は2反復でおこなった．採取した根は新鮮重および長さを測定し，凍結乾燥して乾物重を測定し，糖の分析に供した．

結　　果

各試験地における試験期間中の根のBrix値の推移と各試験地の平均値は年度によりばらつきがあったが，おおむね収穫期間が長くなると小さくなる傾向を示した（図5－17，図5－18）．

つぎに試験最終年の各試験地の単位面積あたりの根重と根長はほぼ同じ傾向を示し，根重が大きくなると根長も長くなった（図5－19）．根重は試験地および品種により異なっており，留寿都や穂別などの火山性土ではやや小さい傾向を示し，石狩の品種間ではHLA-5が大きく，MW500Wでは小さい傾向を示した．収穫期間の処理により根重は影響を受け，収穫期間が長くなると小さくなる傾向を示したが，士別では処理の影響はほとんどみられなかった．

さらに各試験地の根の全糖含有率も試験地や品種により異なっており，長沼や上湧別では小さく，穂別や石狩では大きかった（図5－20）．石狩の品種間では根重と同様にHLA－5が大きく，MW500Wでは小さい傾向を示した．また，長沼以外では収穫期間が長くなると根の糖含有率は小さくなる傾向にあった．

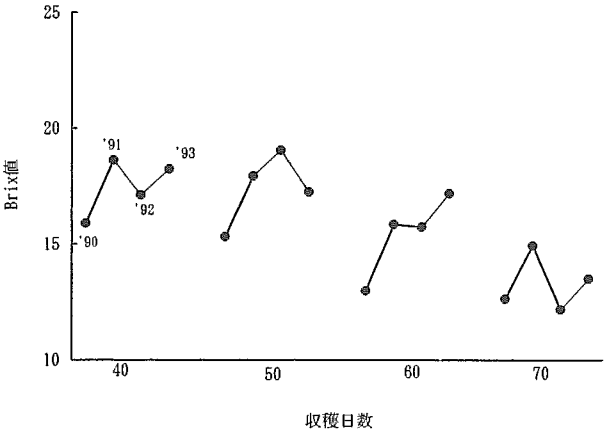

図5－18　収穫期間処理が根Brix値の推移に及ぼす影響（全試験地平均）

考　　察

前節で述べたように，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．したがって，収穫期間の長短により，最も影響を受けるものは根部であると考えられる．そこで北海道各試験地について収穫期間処理が根量や根の糖類に及ぼす影響を検討した．

根のBrix値は根の全糖含有率と密接な関係があるために，根の糖含有率を推定するための指標として使われている[95]．ここでも収穫期間処理をおこなっていた毎年，晩秋に測定した．その値は年度ごとにばらつきはみられるものの，おおむね収穫期間が長くなるほどBrix値は低くなる傾向にあり，この傾向は処理開始年から現れていた（図5－18）．すなわち，収穫期間の影響は処理当年の秋にすぐあらわれると考えられた．

次に収穫期間処理最終年における根重および根の糖含有率だが，解析をするために定植年次と土壌型別にグループ分けして，それぞれ図5－21と図5－22に示した．定植年次でみると根重は4～5年目が6～8年目よりも大きく，両者とも収穫期間が長くなるほど根重は低下していたが，13年目では判然としなかった．糖含有率は4～5年目，6～8年目とも，収穫期間が長くなると低下したが，4～5年目の方がより反応が顕著であり，13年目では収穫期間による反応は認められなかった．つまり，収穫期間は根重と根の糖含有率に非常に影響を及ぼすが，定植後経過年数が少なく，株が若いほどその受ける影響は大きく，特に根の糖含有率に及ぼす影響が大きいと考えられた．

また，土壌型別の根重と糖含有率だが，根重は土壌型で異なり，低地土，台地土，火山性土の順で大きく，これは多賀らの報告[96]と同様だった．収穫期間処理に対する反応性も土壌型により異なり，低地土では根量，糖含有率ともに収穫期間が長くなるほど急速に低下したが，台地土では根量は変化せず，糖含有率のみ低下した．火山性土では両者の反応性はやや鈍い傾向にあった．これらのことは台地土や火山性土などのように土壌物理性が劣り，根群の伸長が制限され易い条件では，根に転流される光合成産物の変化は根の大きさよりもまず，糖含有率にあらわれたためと考えられる．根の伸長が自由におこなわれずらい条件では，地上部の変化を反映する根の緩衝力も小さくなっていると考えられる．

さらに，品種により，根重および根の糖含有率は異なっており，石狩圃場の3品種間では，根重，糖含有率ともHLA－5が大きく，ついでUC157，そしてMW500Wでは小さい傾向を示した（図5－19，5－20）．収穫期間処理による反応は，ほぼ同じであったが，HLA－5の根重は収穫期間が長くなっても大きな根重の低下は認

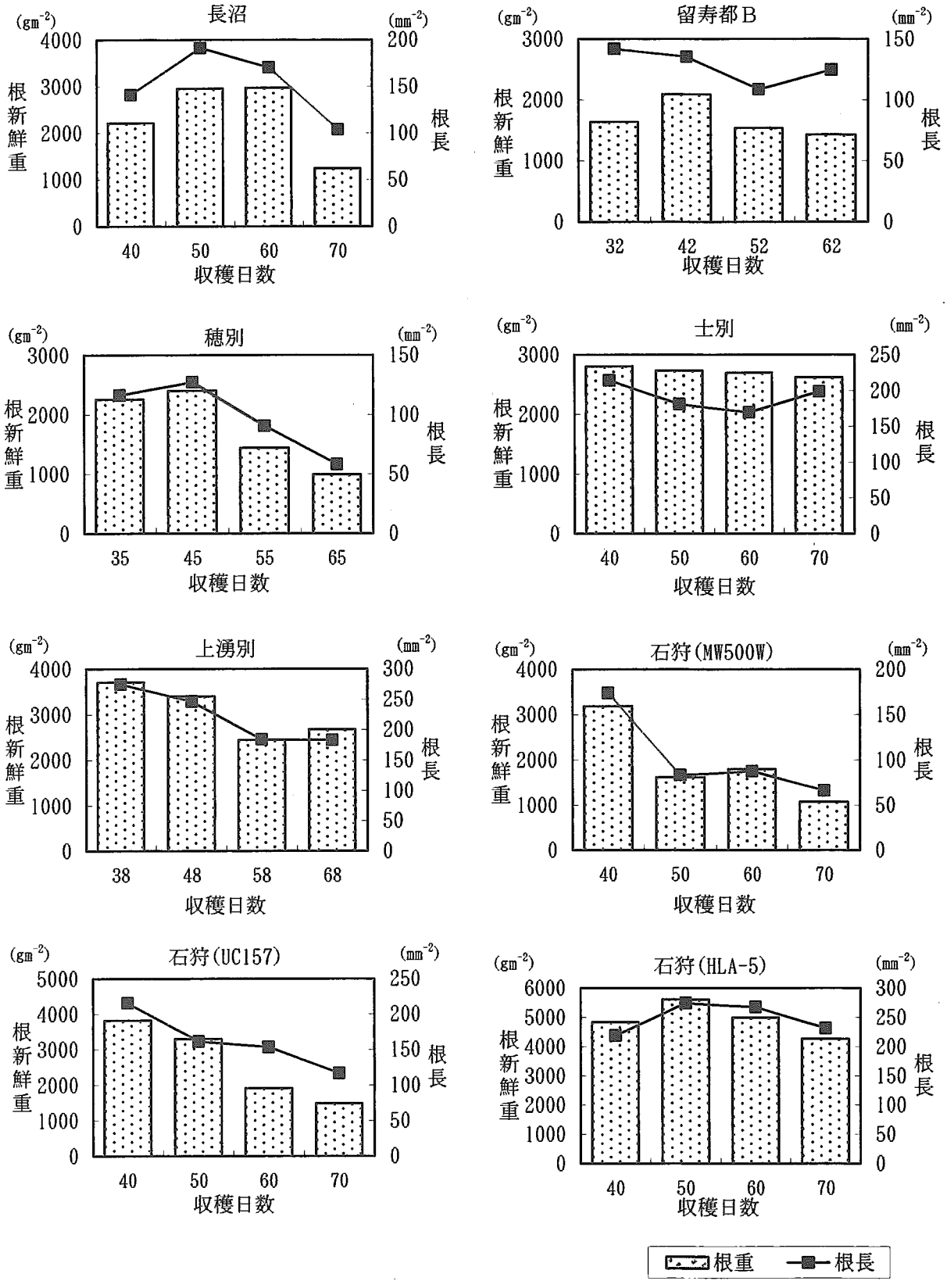

図5－19　収穫期間処理が各試験地の根重および根長に及ぼす影響

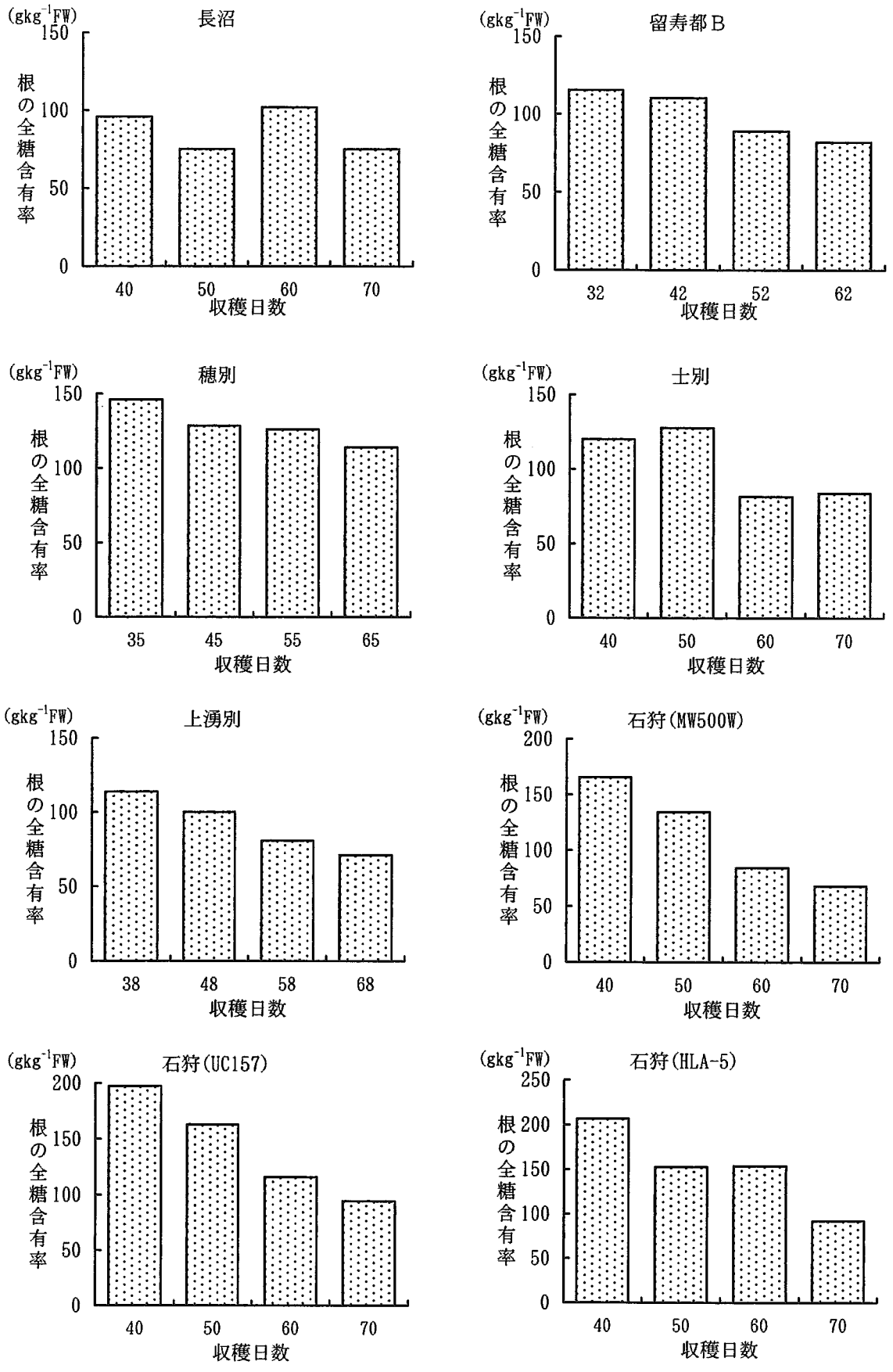

図5－20 収穫期間処理が各試験地の根の全糖含有率に及ぼす影響（処理開始後4～5年目）

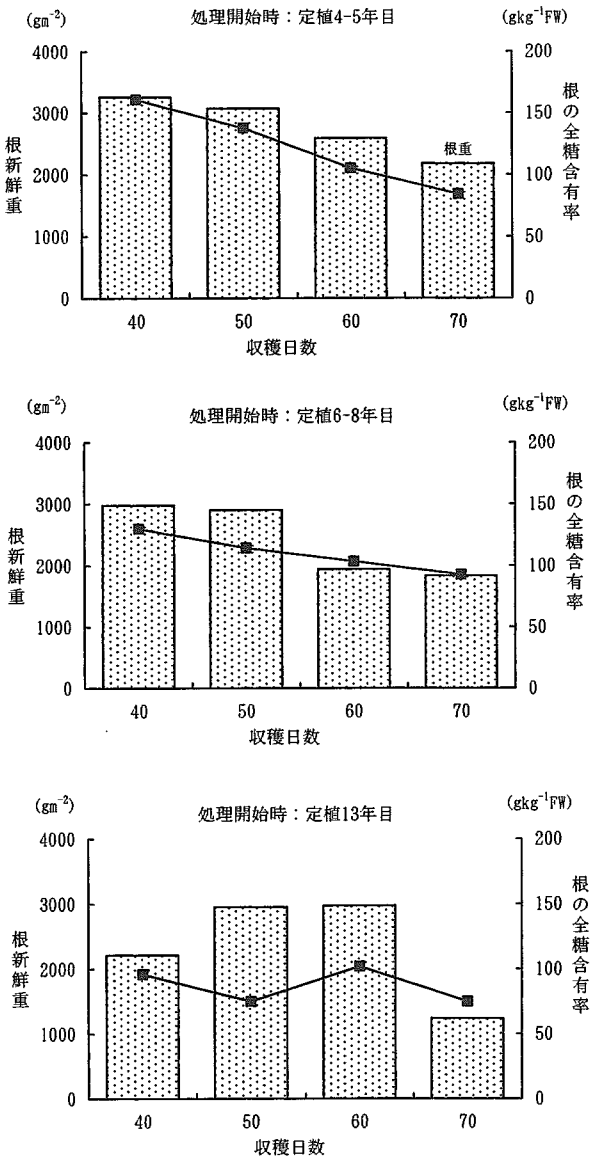

図5－21　収穫期間処理が定植年次別の根重および根の全糖含有率に及ぼす影響（処理開始後4～5年目）

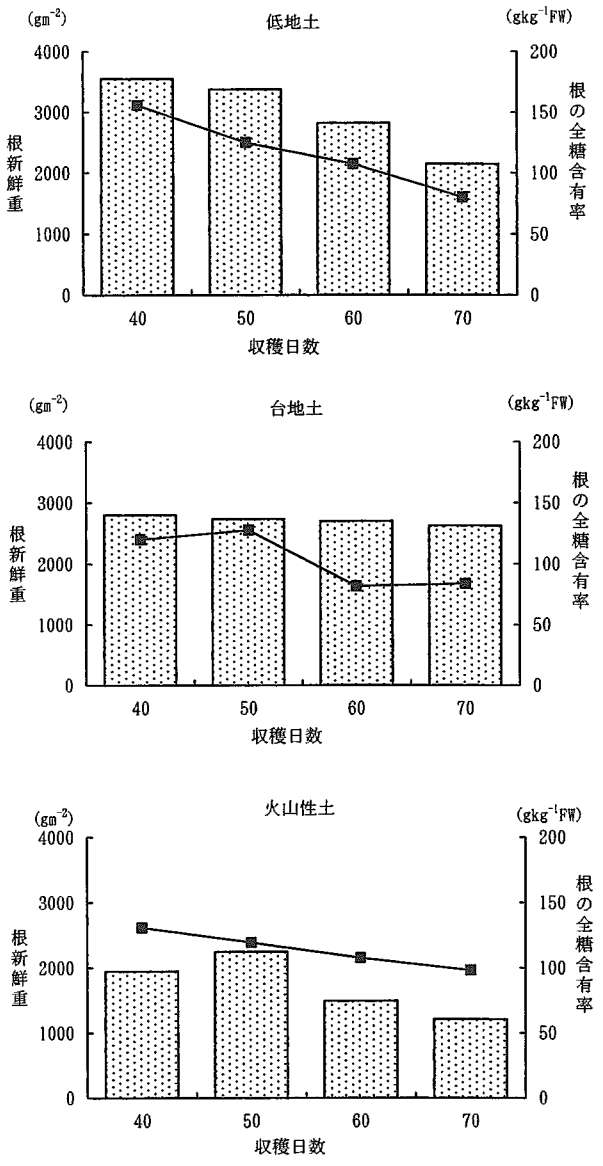

図5－22　収穫期間処理が土壌型別の根重および根の全糖含有率に及ぼす影響（処理開始後4～5年目）

められず，この品種の生産性が高い理由がこのような根の反応性にもあるものと考えられた．

以上の結果から，アスパラガスの生産性は根の量およびその根の糖含有率と密接な関係があるが，第Ⅱ章第2節で述べたように低収圃ほどこの根の充実は不十分だった．そしてこの根の衰退は本試験で示したように収穫期間が不適切になっているためと考えられ，適正な収穫期間の設定が収量回復のためには必要である．

第4節　異なる生育年数と収穫期間が根部の糖類組成の推移に及ぼす影響

定植後経過年数の異なる2圃場において，収穫期間処理が根部糖類組成の推移に及ぼす影響を検討した．

方　　法

試験は収穫期間処理をおこなっている留寿都村の2圃場でおこなった．A圃場は試験開始時で13年目，B圃場は4年目だった．調査は1991年におこない，収穫直後の7月25日，茎葉繁茂後期の9月25日，越冬直前の10月29日に根を採取した．根の糖の分析は第Ⅳ章と同様に80%熱エタノール抽出したものを，高速液体クロマトグラフィーで定量した．単糖類とスクロースの定量に用いたカラムはShodex Ionpak KS801（8㎜φ×300㎜　昭和電工），重合度3～6までのオリゴ糖はCosmosil Packed Column 5NH2（4.6㎜φ×150㎜　ナカライ）だった．重合度7以上のオリゴ糖は抽出物を塩酸で加水分解し，その合量から求めた．

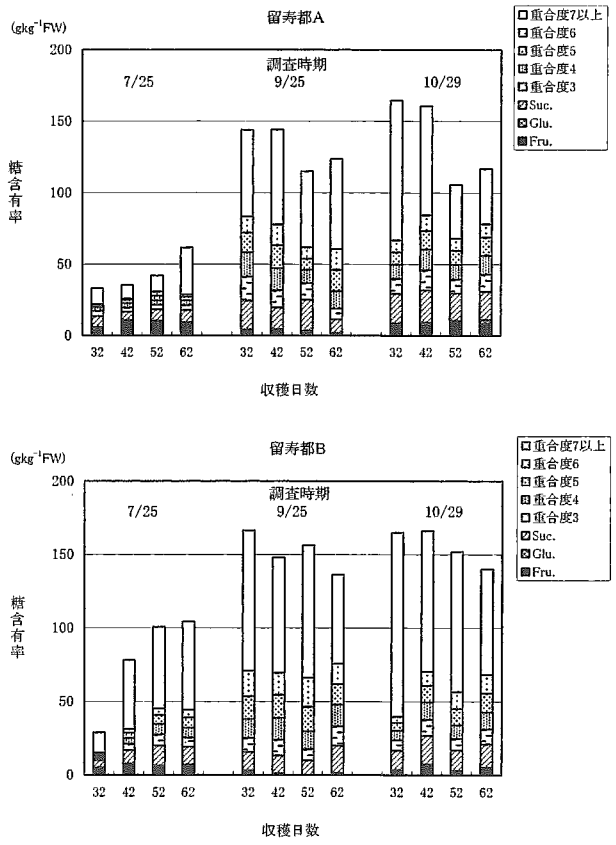

図5－23　収穫期間処理が根の重合度別糖含有率の推移に及ぼす影響（処理開始後3年目）

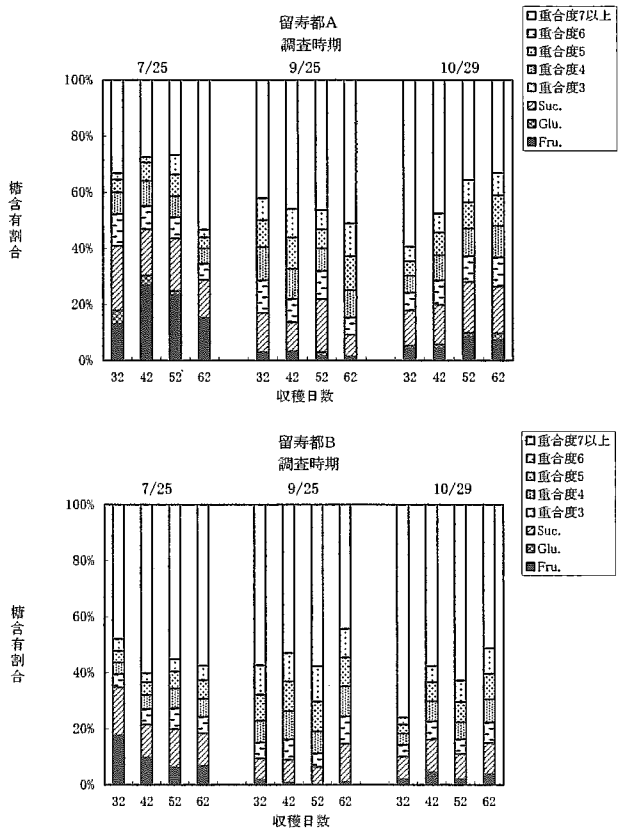

図5－24　収穫期間処理が根の重合度別糖含有割合の推移に及ぼす影響（処理開始後3年目）

結　　果

両圃場の重合度別糖の含有率の推移をみると全糖含有率はいずれの時期も定植後経過年数の短いB圃場でA圃場よりも高い傾向を示し，7月25日が最も低く，9月25日に急激に増加し，10月29日ではやや増加した（図5－23）．収穫期間処理により，7月25日では収穫期間が長くなるほど糖含有率は高かったが，9月25日以降では逆の傾向を示し，収穫期間が長くなると低下した．この傾向は定植後の年数が経過しているA圃場で顕著だった．重合度別の糖の構成割合の推移はA圃場では7月25日にフルクトースが多く，重合度の高い糖の割合は少なかったが，9月25日以降では重合度が高い糖の割合が増加した（図5－24）．収穫期間処理では7月25日に，収穫期間が最も長い処理区で重合度の高い糖の割合が多かったが，10月29日では収穫期間が長くなるほど重合度の高い糖の割合が減少した．B圃場では7月25日ではA圃場より重合度の高い糖の割合は多く，収穫期間が長いほど重合度が高い糖の割合は多い傾向にあった．その後はこの傾向は逆転し，収穫期間が長くなるほど重合度の高い糖の割合は少なくなった．

考　　察

第Ⅲ章第2節では標準的なアスパラガスの周年的な根の糖類含有率の推移を検討したが，そこではアスパラガスが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ため根部に集積する糖類の量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ことを明らかにした．ここでは定植後経過年数の異なる圃場について，収穫期間を変化させ，根の糖類であるオリゴ糖の重合度別の含有率の推移を検討した．

最初のサンプリング時期である7月25日は最も収穫期間が長い62日間区の収穫が終了した直後に当たるが，アスパラガスは収穫終了直後から茎葉繁茂を開始するため，この時点では最も収穫期間が短い32日間区では，最も茎葉が繁茂し，収穫期間が長くなるほど茎葉繁茂程度が小さい状態にある．第Ⅲ章第1節で述べたように茎葉は収穫直後から約12日間で急速に増加し，そのあいだにほとんど茎葉を完成させてしまう．この急速な生育には，生育中の茎葉の光合成も若干寄与していると考えられるが，大部分は根部に集積された糖類でまかなわれている

と考えられる．したがって，全糖含有率についてみると，7月25日において収穫期間が短いほど含有率が高いのは，茎葉繁茂開始時期が早いものほど根部糖類をより多く消耗したためと推察される．この時点で糖含有率が高い62日間区であっても，この後2週間ほどで茎葉生育に根の糖類を使用するために，急速に糖含有率は低下すると考えられる．実際，2ヶ月間経過した9月25日サンプリング時期では収穫期間が長い区ほど糖含有率は小さくなっており，糖含有率の傾向は逆転していた．この後，越冬直前の10月29日サンプリングでは糖含有率がやや増加していたが，収穫期間が長くなるほど糖含有率が低くなるという傾向は変わらなかった．この傾向は前項の傾向と同様であり，収穫期間が長くなると，光合成期間である茎葉繁茂期が短くなり，根に貯蔵される糖類含有量が小さくなるということを表している．また，根の糖含有率は定植後経過年数が多いA圃場よりも年数があまり経過していないB圃場では，常に高く推移し，株が古くなると貯蔵糖類含有率が低下するものと考えられ，このことはアスパラガスの寿命と密接な関連があると推察された．

次に糖の重合度別含有割合の推移では，収穫直後の7月25日ではフルクトースやスクロースなどの単糖，二糖類の割合が多く，収穫期間が短く早期に茎葉が繁茂している区ほど割合が多かった．これは茎葉の生長に重合度の高い糖が短い糖に分解し，生長部位に転流されるためと考えられる．その後重合度の高い糖の割合は増加し，越冬前の10月29日には両圃場とも収穫期間が短いほど重合度の高い糖の割合が多くなった．これは第Ⅳ章で述べたように，地上部から根へ転流してきた糖は比較的早い時間で重合度の高いオリゴ糖へと代謝されるが，収穫期間が短く，光合成期間が長い場合は集積糖量も多く，かつ，より重合度の高いオリゴ糖へ代謝される量が多くなると考えられる．この越冬期間に重合度の高いオリゴ糖を集積糖類とすることは翌年の生育のためのみならず，耐凍性とも関与しているとも考えられ，株の消失や寿命の問題と併せて今後解明される問題と考えられる．また，定植後経過年数の異なる両圃場間では，定植間もないB圃場では古いA圃場よりも常に重合度の高いオリゴ糖の割合が多く，株の老化は重合度の高いオリゴ糖代謝の低下ももたらしている可能性が示唆された．

第5節　根部に集積する糖類組成と生産性との関係

根部糖類の組成と若茎生産性の関係について検討した．

方　法

収穫期間処理試験の最終年度に採取した根を，前項と同様に糖の重合度別に分別定量し，生産性との関係を検討した．

結　果

各試験地の根の重合度別糖含有率は，いずれの試験地においても重合度が5以上の糖含有率は収穫期間が短くなると増える傾向にあった（図5－25）．また，重合度別糖の含有割合は，収穫期間が増加するといずれの試験地においてもフルクトースなどの単糖類と二糖類であるスクロースの割合が増加し，反対に重合度が5以上のオリゴ糖割合が減少する傾向にあった（図5－26）．

生産性と根部糖含有率との関係を明らかにするために，一日あたりの収量と重合度別糖含有率との相関係数を表5－2に示した．ここで収量を一日あたりとしたのは，収穫期間が短い場合は収量が過小評価されるためである．フルクトース，グルコース，スクロースなどの二糖類以下とは相関は全く認められないが，重合度3以上の糖では正の相関関係が認められた．また，重合度3以上の糖の合量とも正の相関関係は認められたが，合計する糖の種類が多いほど相関係数は高かった．全糖との相関係数は二糖類以下が含まれるためにやや低くなった（図5－27）．

考　察

前項の結果と同様に，いずれの試験地においても重合度の高い糖含有率は収穫期間が短くなると増える傾向にあった．しかしながら，糖の重合度別含有量は収穫期間処理により異なる傾向を示した（図5－25）．つまり，収穫期間が長くなると，その分茎葉繁茂期間が短くなり集積される糖の含有率も小さくなることはすでに述べたとおりだが，その集積した糖の組成割合は単純に一定ではなく，収穫期間が増加すると重合度が高いオリゴ糖割

表5－2　1日当たりの収量と根の重合度別糖含有率との相関係数　(n＝48)

	フルクトース	グルコース	スクロース	重合度3	重合度4	重合度5	重合度6
収量/日	−0.319*	−0.033	−0.225	0.169	0.403**	0.528**	0.447**

	重合度3以上	重合度4以上	重合度5以上	重合度6以上	重合度7以上	全糖
収量/日	0.641**	0.630**	0.609**	0.585**	0.559**	0.576**

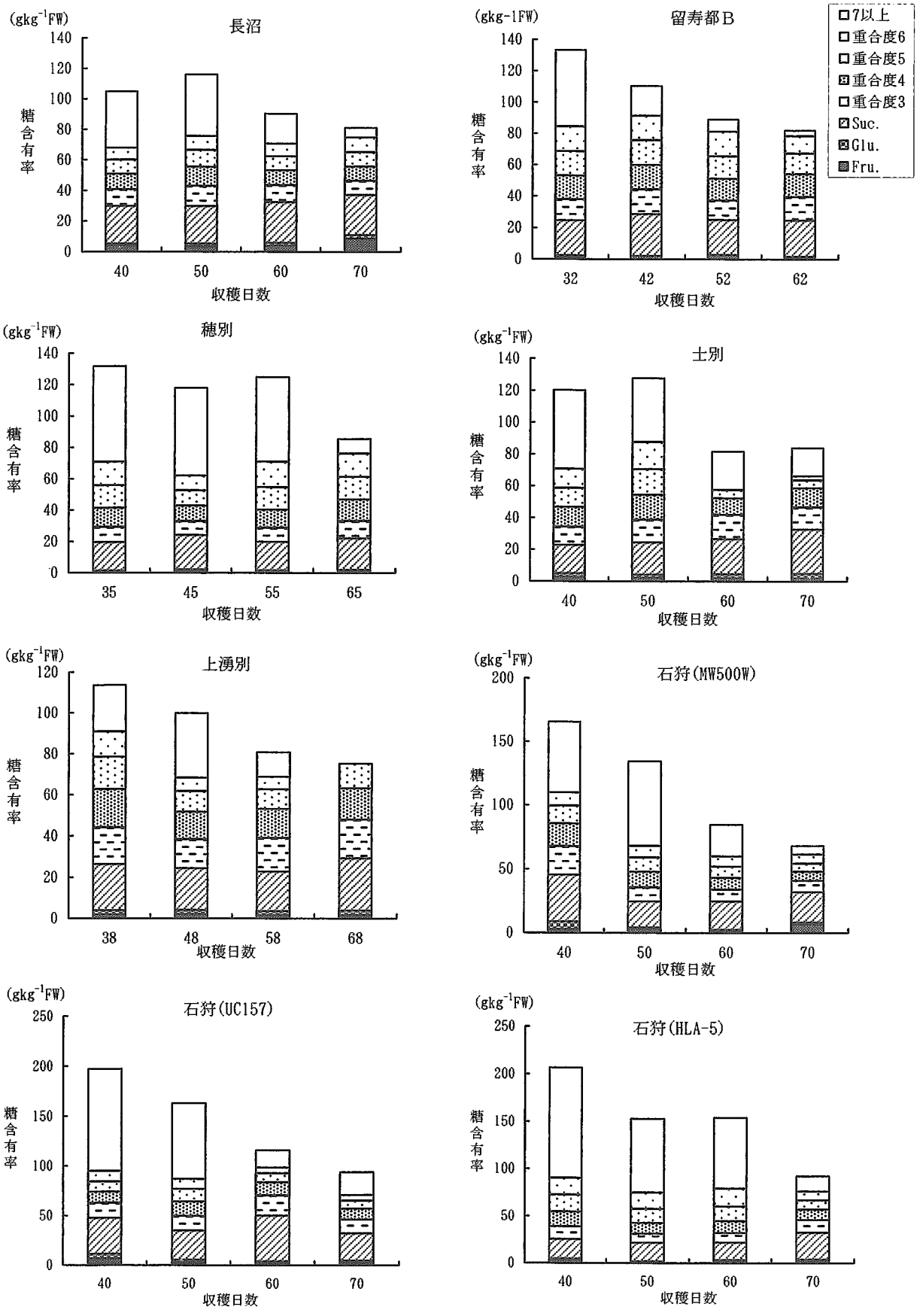

図5－25　収穫期間処理が各試験地の根の重合度別糖含有率に及ぼす影響（処理開始後4～5年目，秋季に調査）

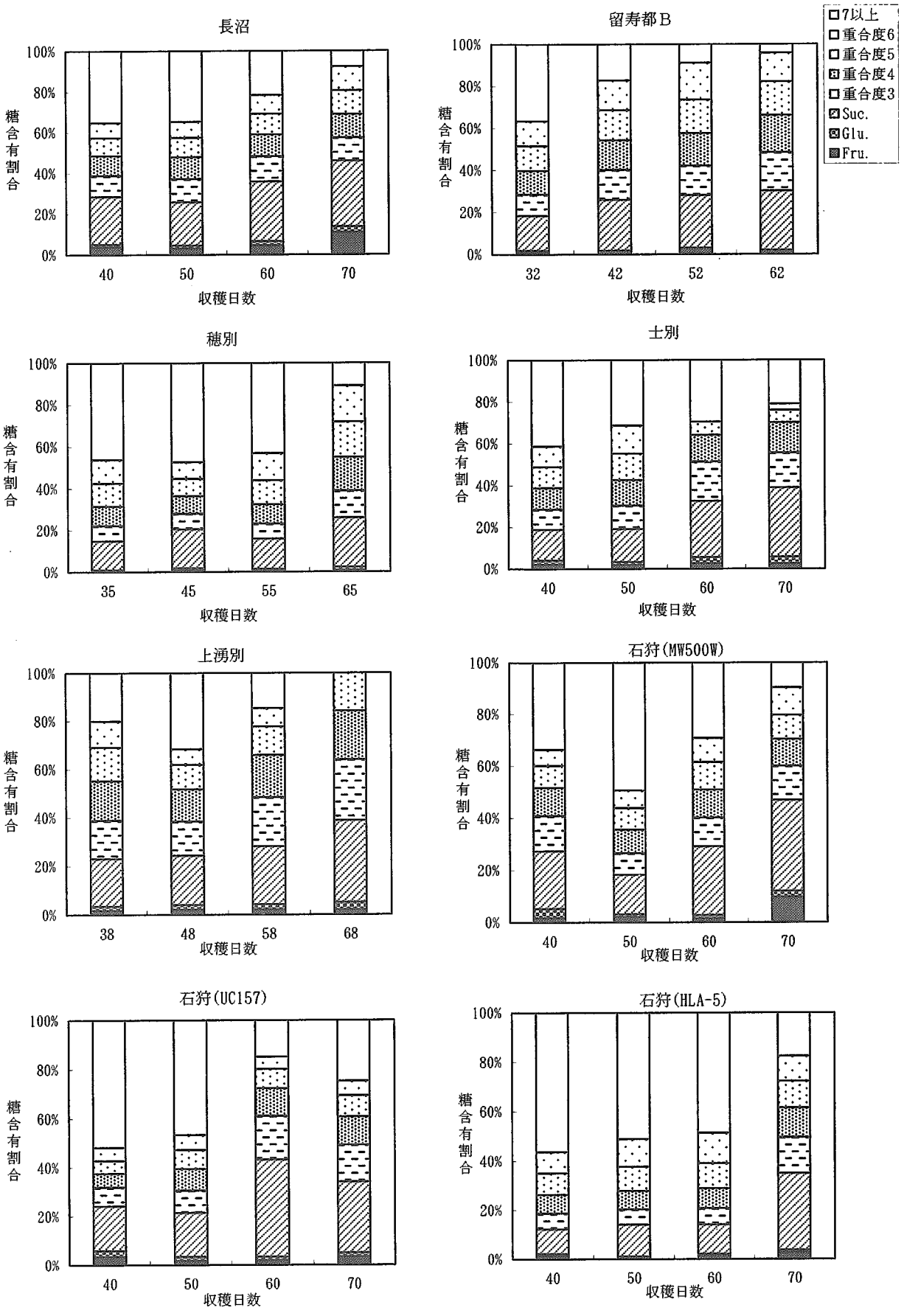

図5－26　収穫期間処理が各試験地の根の重合度別糖含有割合に及ぼす影響（処理開始後4～5年目，秋季に調査）

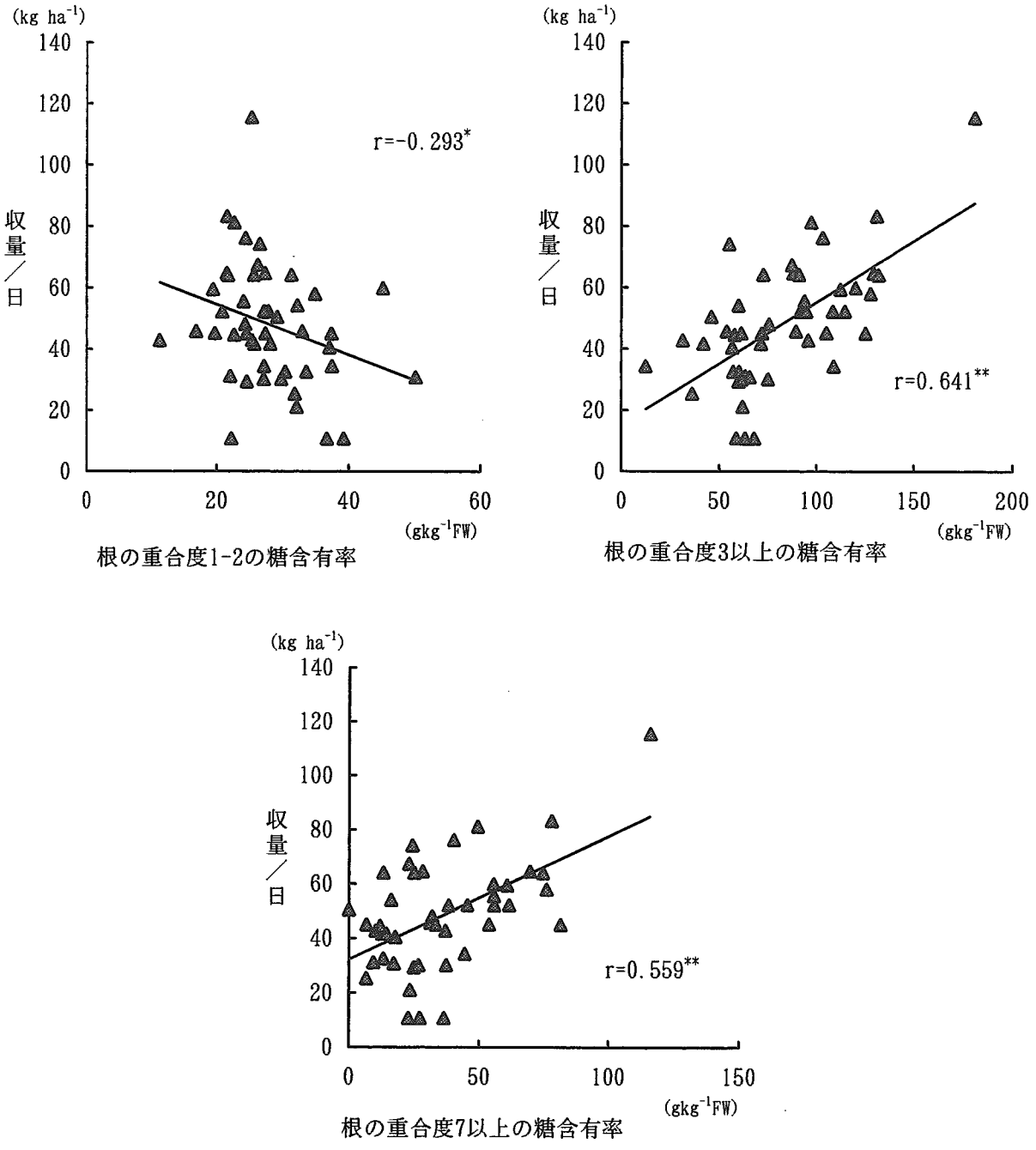

図5－27 一日当たりの収量と根の重合度別糖含有率との関係

合が減少する傾向にあった（図5－26）．このことは茎葉から根部へ転流してくる光合成産物であるスクロースが重合してより大きいオリゴ糖を生成することが，時間的な要因かあるいは量的な要因により支配されているためと考えられる．

量的要因に立脚した仮説は，ある量以上の光合成産物が存在しないと重合度の高いオリゴ糖が生成しないというものだが，重合度別糖含有率をみるとほとんどの試験地において，重合度が4から6程度の糖含有率は同じだった．これは低い重合度の糖含有率の濃度が常に一定になる機構が存在すると考えることができる．

一方，時間的要因であるが，根の糖含有率を時期別に調査した前項の結果では，茎葉繁茂期後半の9月25日から10月29日まで約1ヶ月間のオリゴ糖組成変化は大きいものではないが，より重合度の高い糖の割が増えていた（図5－24）．第Ⅳ章で述べたように，地上部から根へ転流してきた糖は比較的早い時間で重合度4以上のオリゴ糖へと代謝されるが21)，さらに7以上と重合度の高い

オリゴ糖へは一定以上の時間がかかって変化していくものと考えられる．

このように，収穫期間が短く茎葉繁茂期間が長い条件では，根部に転流する光合成産物量自体が増加し，それに伴い高い重合度のオリゴ糖の生成がなされ，その状態の期間が長期に続くことでより促進されることによって，多量の重合度の高いオリゴ糖が集積されると考えられ，根のオリゴ糖の集積は，量的，時間的要因の両方により支配されていると思われる．

次にオリゴ糖組成と生産性との関係だが，二糖類以下とは相関関係は全く認められないが，重合度4以上の糖では正の相関関係が認められた（表5－2）．このことは地上部からの転流物であるスクロースを含むそれ以下の重合度の糖は植物体維持のエネルギーや組織の分化などの代謝に利用されている糖であり，次年度の生産に関係する貯蔵糖とは直接的には無関係であると考えられる．しかしながら，これらの糖は時期によって変動はあるが収穫処理による含有率の変動は小さく，一定の濃度に保たれていることから貯蔵糖であるオリゴ糖からの分解により平衡が保たれていると推定される．また，重合度が4以上であれば生産性に関係する根のオリゴ糖とはいずれの重合度でも，合量では重合度3以上の糖とはいずれも高い相関関係が見られ，根の重合度が4以上のオリゴ糖の集積が翌年の生産性に最も重要であると考えられる．

第6節　まとめ

北海道各地のアスパラガスの主要産地，6地域，9圃場に収穫期間処理を4段階設定し，3年から5年間にわたって生育，収量，若茎の糖含有率，根量，根の糖類組成に及ぼす影響を調査した．

(1) 若茎収量は収穫期間の長短に左右され，収穫期間処理開始当初では収穫期間が短くなると少なく，延長されると増加したが，年次の経過にともない長期収穫期間処理では急速に減収した．

(2) 若茎の平均一茎重は処理2年目以降では，収穫期間が長いほど減少し，収穫期間の長期化は一茎重の大きい規格品率の低下をもたらした．

(3) 秋季の生育量である生育指数（GI）は収穫期間が短くなるほど大きく，収穫期間が長くなるほど，より急速に低下した．

(4) 若茎に含有される糖はフルクトース，グルコースおよびスクロースのみであり，フルクトースが最も多く，次いでグルコースであり，スクロースは最も少なかった．フルクタンの集積は認められなかった．若茎の部位別糖含有率は基部で最も高く，次いで中位で高く，先端では最も低かった．また，収穫時期別糖含有率は収穫前期で高く，収穫中期から後期にかけて低下した．収穫期間が長くなるほど若茎の糖含有率は低下した．

(5) 収穫期間処理により根重は影響を受け，根重は収穫期間が長くなるに伴って減少した．

(6) 根の全糖含有率は収穫期間が長くなるに伴って低下した．生育年数が少ないほど収穫期間の延長に伴う根の全糖含有率の低下度合は著しかった．

(7) 根部糖類組成の推移は，収穫期間終了直後では重合度の高い糖の割合が低かったが，茎葉繁茂期後半では重合度が高い糖の割合が上昇した．収穫期間処理についてみると，越冬直前において収穫期間が短い処理区では重合度の高い糖の割合が高かったが，収穫期間が長い処理区では低かった．

(8) 越冬直前の根における重合度別の糖含有割合は，収穫期間が長くなると単糖類と二糖類の割合が上昇し，反対に重合度が5以上のオリゴ糖割合が低下した．

(9) 一日あたりの収量と前年秋季の根における重合度別糖含有率との間には二糖類以下の糖では相関は全く認められなかったが，重合度3以上の糖とには正の相関関係が認められた．

(10) 以上の結果から，アスパラガスの低収要因として収穫期間の長期化が挙げられ，適正な収穫期間の設定が必要であると考えられた．

第Ⅵ章　総　合　考　察

第１節　アスパラガスの生育・栄養特性と根部の糖類集積特性

アスパラガスは長期間栽培される作物で，その安定生産のためには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，そのためには乾物集積および養分吸収過程の把握が重要となる．そこでアスパラガスの根部を含めた作物体全体の年間を通した乾物重と養分吸収および根部における糖の集積パターンについて調査した．

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）．また，この茎葉の養分含有量は茎葉の成長開始期に急速に増加しており（図３－４），茎葉の生育は養分吸収を伴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はあるが増加しており，茎葉繁茂終了以降も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．地上部茎葉の乾物重は茎葉繁茂期に最も多く，越冬前，収穫直前としだいに減少する（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る．一方，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倍であり，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た．すなわち根の乾物重が著しく減少する時期はおよそ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．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重は増加し，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重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．

同様に養分の年間の動きをみると，収穫終了直後から茎葉繁茂期にかけては根部では窒素が減少し，カリウムがやや増加した（図３－９）．一方，地上部茎葉の窒素とカリウムは増加しており，この時期に土壌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．以上の結果と周年的な養分吸収量から，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，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．そして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，P_2O_5:60，K_2O:120　$kgha^{-1}$程度と考えられた．

次に根部における糖の推移をみると根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した．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）．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．根部全体の糖類含有量は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．

このように根量および糖含有量は周年的に非常にダイナミックな挙動を示す．そこで，茎葉で同化された光合成産物がどのようにして根の糖へと蓄積されるのかを明らかにするために，茎葉繁茂初期のアスパラガスに$^{14}CO_2$を同化させ，アスパラガスの根部における糖代謝について検討した．

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%程度移行したのみだったが（図４－４），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，この同化産物の多くが根部に移行すると思われる．また，根部内での^{14}C分配率は旧貯蔵根，吸収根において高く，養水分吸収器官と貯蔵器官の両方に多く分配した．

次に，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であったが（図４－５），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，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．

根部の各部位における^{14}C化合物の化学形態の大部分は糖であったが，部位によりその割合は異なっており，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（図４－６），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．

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）．アスパラガスは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，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ものと考えられた．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，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．

第２節　収穫期間がアスパラガスの生育特性に及ぼす影響

様々な生育状態に対応した栽培管理を行うために，異なる生育年次，土壌および品種を用いて，収穫期間がアスパラガスの生産性や生育，根部の糖組成等に及ぼす影響を検討した．

まず，地域と土壌が同一で定植後経過年数のみが異なる２圃場について，収穫期間を変化させ，根の糖類であるオリゴ糖含有率の推移を検討した．その結果，根の糖含有率は定植後経過年数が多い圃場よりも年数があまり経過していない圃場で常に高く推移しており（図５－23），株が古くなると貯蔵糖類含有率が低下するものと考えられた．このことはアスパラガスの寿命と密接な関連があると推察され，株の生育年数が多くなると根の貯蔵糖類含有率が次第に低下し，そのため生育が衰え，やがては株そのものが消滅してしまうものと推察される．さらに糖類の重合度別含有割合の年間の推移をみると，収穫終了直後では単糖，二糖類の割合が多く，収穫期間が短く早期に茎葉が繁茂している区ほど割合が多かった（図５－24）．これは茎葉の生長に重合度の高い糖が短い糖に分解し，生長部位に転流されるためと考えられる．その後重合度の高い糖の割合は増加し，越冬前には両圃場とも収穫期間が短いほど重合度の高い糖の割合が多くなった．定植後経過年数の異なる圃場間では，定植間もない圃場では古い圃場よりも収穫直後，茎葉繁茂期，越冬前といずれの時期においても，重合度の高いオリゴ糖の割合が多く，株の老化は重合度の高いオリゴ糖代謝の低下ももたらしている可能性が示唆された．

次に，生育年次，土壌および品種を異にする，北海道各地のアスパラガスの主要産地，6地域，９圃場に収穫期間処理を４段階設定し，異なる条件下におけるアスパラガスの収穫期間に対する生育特性を調査した．

処理２年目以降の生育年次と収量の関係を考察するために，生育年次毎にいくつかのグループに分けを行った．すなわち，1989年当時の定植後年数で４～５年目，６～８年目，13年目の３グループに分け，各グループごとに各年次の収量を平均した（図５－３）．比較的新しい定植後４～５年目の圃場では収穫期間が40日間では経過年数とともに増加したが，50日間ではほぼ一定，60日以上だと減少した．定植後６～８年目の圃場ではいずれの収穫期間でも収量は減少傾向にあり，40日間では減少率がわずかだったが，収穫期間が長くなるに従い収量は著しく低下した．さらに，経過年数が13年の圃場はすべての処理区で収量は減少しており，その程度は著しかった．アスパラガスの生育期間中の収量の変遷は定植後６，７年までは増加し，その後一定値で推移し，その後低下し廃耕になるといわれている．従って，定植後４～５年目のグループでは収量が増加する期間に相当すると考えられるが，収穫期間が60日間以上と長期になると，収穫後の茎葉繁茂期が短く，十分に根へ貯蔵糖類が集積されず収量が低下したものと思われる．定植後６～８年のグループでは収量が一定値の時期だが，収穫期間が50日間であっても収量は低下しており，病害や定植時の不備などで根群の拡大が充分なされていないことが考えられる．13年目ではいずれの処理区でも収量は著しく低下していた．これは前述したように生育年数が経過することにより，貯蔵糖類含有率が非常に低下した状態にあるためと考えられる．

収穫期間の長短により，最も影響を受けるものは根部

であると考えられるため，処理最終年における根重および根の糖含有率について，解析をするために定植年次と土壌型別にグループ分けした（図５－21，図５－22）．定植年次でみると根重は４～５年目が６～８年目よりも大きく，両者とも収穫期間が長くなるほど根重は低下していたが，13年目ではこの傾向は判然としなかった．根重は栽植年次の経過に伴い次第に大きくなるものではなく，ある年次に最大値に達した後はそれが維持されるか，なんらかの要因で阻害を受けて減少するものと考えられた．また，根の糖含有率は４～５年目，６～８年目とも，収穫期間が長くなると低下したが，４～５年目の方がより反応が顕著であり，13年目では収穫期間による反応は認められなかった．つまり，収穫期間は根重と根の糖含有率に非常に影響を及ぼすが，定植後経過年数が少なく，株が若いほどその受ける影響は大きく，特に根の糖含有率に及ぼす影響が大きいと考えられた．

根重は土壌型で異なり，低地土，台地土，火山性土の順で大きかった．収穫期間処理に対する反応性も土壌型により異なり，低地土では根量，糖含有率ともに収穫期間が長くなるほど急速に低下したが，台地土では根量は変化せず，糖含有率のみ低下した．火山性土では両者の反応性はやや鈍い傾向にあった．これらのことは台地土や火山性土などのように土壌物理性が劣り，根群の伸長が制限され易い条件では，根に転流される光合成産物の変化は根の大きさよりもまず，糖含有率にあらわれたためと考えられる．根の伸長が阻害されやすい土壌条件では，根の緩衝力も小さくなっていると考えられる．

さらに，品種により，根重および根の糖含有率は異なっており，同一の生育年数と地域である石狩圃場の３品種間では，根重，糖含有率ともHLA-5が大きく，ついでUC157，そしてMW500Wでは小さい傾向を示した（図５－19，５－20）．収穫期間処理による反応は，ほぼ同じであったが，HLA-5の根重は収穫期間が長くなっても大きな根重の低下は認められなかった．また，これら３品種の生産性はHLA-5が最も多く，ついでUC157，そしてMW500Wの順であり（図５－２），HLA-5の生産性が高い理由がこのような根の反応性，すなわち根量が大きく，根の糖類含有率も高く，収穫期が長期であってもそれによる根量低下が少ないといった特性にあるものと考えられた．

アスパラガスの生産性は根の量およびその根の糖含有率と密接な関係があるが，前述したように低収圃ほどこの根の充実は不十分だった．そしてこの根の衰退は収穫期間が不適切になっているためと考えられ，適正な収穫期間の設定が収量回復のためには必要である．

第３節　アスパラガスの合理的生産性向上方策

アスパラガスは北海道に適した作物として定着しているが，1981年頃から収量は減少している．そこで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たところ，土壌化学性が基準値に満たない圃場が存在していた．また，同一地域内で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ところ，高収の圃場は根量が多く，低収では少なく，低収圃では根群の発達を阻害する土壌条件にあった．このため，有機物の補給，りん酸や石灰資材の施用，根群の拡大充実をはかるために圃場全面に対する新しい土壌改良法について検討した結果，この深耕ロータリーを用いた全面深耕法により土壌改良資材を圃場全体に混和でき，深い層の土壌が膨軟になった．このため根量は増大し，地上部の生育量は安定して確保でき生産性が向上した．また，アスパラガスはアレロパシー物質が多いといわれており[109]，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．

以上のように生産性を阻害している土壌条件が存在する場合は，それを解消することによってアスパラガスの低収改善は図られるが，多くのアスパラガス低収の主要因は栽培管理上の問題が主要因と考えられる．

そこで北海道各地のアスパラガスの主要産地，６地域，９圃場に収穫期間処理を４段階設定した処理を設け，３年から５年間にわたって収量等，生産性に関わる要素と茎葉生育量，根重，根のBrix値等生育に関わる要因を調査した．その結果，若茎収量は収穫期間の長短に左右され，収穫期間処理開始当初では収穫期間が短くなると少なく，延長されると増加したが，年次の経過にともない長期収穫期間処理では急速に減収した．また，根重は収穫期間が長くなるに伴って減少した．根の全糖含有率は収穫期間が長くなるに伴って低下した．以上のことから，アスパラガスの低収要因として収穫期間の長期化が挙げられ，適正な収穫期間の設定が必要であると考えられる．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

表6－1　アスパラガスの収量および各形質間の相関係数

	収穫日数	収量	一茎重	収量傾向＊	前年のBrix値	根重	Brix×根重	収量/日	前年のGI
収穫日数	1								
収量	−0.077	1							
一茎重	−0.652**	0.294	1						
収量傾向＊	−0.564**	0.311	0.407*	1					
前年のBrix値	−0.621**	0.087	0.354	0.648**	1				
根重	−0.253	0.736**	0.283	0.315	0.096	1			
Brix×根重	−0.468**	0.705**	0.410*	0.540**	0.460*	0.919**	1		
収量/日	−0.566**	0.839**	0.566**	0.550**	0.395*	0.698**	0.797**	1	
前年のGI	−0.772**	0.379*	0.568**	0.472**	0.416*	0.536**	0.638**	0.697**	1
GI×Brix値	−0.817**	0.321	0.583**	0.566**	0.614**	0.463**	0.660**	0.684**	0.966**

＊：収量の年あたりの増減量（kg ha^{-1}　$year^{-1}$）

示しており，高い収量を得ようと収穫期間をいたずらに延長すると，その後の茎葉生育の低下を招く．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基準設定は非常に重要なものとなる．

この基準を設定するために生育や生産性の要因相互の関連を検討し，それらの相関係数を表6－1に示した．この相関表から，収量そのものは強度因子の根のBrix値と容量因子である根重を掛け合わせた積および根重と高い正の相関があり，これらを測定することにより翌年の収量をかなり正確に予測することができる．丸山[54]も促成栽培で植え込む根株重と根のBrix値が測定できる場合は両者の積で収量を推定することが可能であるとしている．しかしながら，実際に植栽されている圃場で根量を測定することは実際上は不可能である．

茎葉の生育と翌年の収量とは密接な関係にあるといわれているが[30]，本試験ではGI（生育指数）と収量そのものとの間に高い相関は得られなかった．これは収穫期間が40日間という短い期間では茎葉生育量に対応した収穫可能量に実際の収量が達していない状態のためと考えられた．そこで，GIと一日当たりの収量との関係をみると相関関係がより高くなり，前年のGIが大きくなるほど一日当たり収量が増加した（図6－1）．ここで翌年の収量を予測するために50日当たりの収量として2000（kgha^{-1}，以下同）以下，1500～3000，2500以上と3区分すると，GIはそれぞれ2,000以下，2,000～4,000，4,000以上となり，前年のGIを測定することにより翌年の収量をある程度予測することが可能となり，それに対応した栽培管理ができるものと考えられた．GIは収穫日数と高い負の相関関係にあり，収穫期間を短縮することによってGIを高めることができ，10日間の短縮によっておよそGIを1,500程度高めることが可能と推定された．

一方，永年作物であるアスパラガスの生産性を考慮する場合，単年度収量の多少だけではなく，収量が年次とともにどう変化しているかを把握することも必要である．そこで，試験開始2カ年の収量の平均値と最終の2

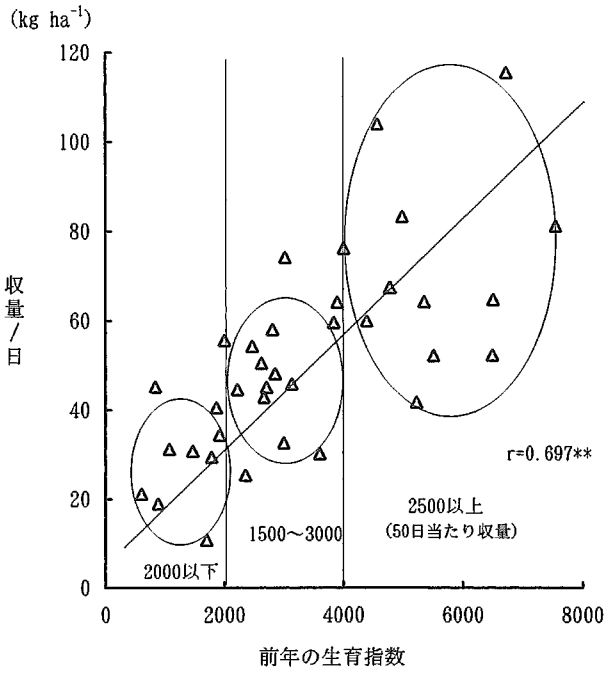

図6－1　生育指数と一日当たりの収量との関係

カ年の平均値との差をとり収量傾向とした．収量が一年当たりどの程度増加あるいは減少しつつあるかを表しており，この収量傾向と各要因との相関関係から将来の収量変化の予測が可能かどうかを検討した．その結果，この収量傾向は根のBrix値と最も高い正の相関関係にあることが認められ，将来の収量の傾向は根のBrix値で予測可能と考えられた（図6－2）．前年の根のBrix値が高まると，収量傾向はプラスの方向，つまり前年の収量よりも増加する方向に向かうようになる．そこで，ここでも収量傾向で区分し，収量傾向を-500（kgha-1year^{-1}，以下同）以下，-1000～0、-500～＋500とすると，それぞれに対応する根のBrix値は12以下，12～15，15以上になるが，Brix値15以上の区分をさらに18で分割すると収量傾向が-250～＋250と収量の変動幅が小さく，安定した区分が得られた．したがって，以上にあげた4区分により収量傾向を判断できると考えられる．また，根のBrix値も

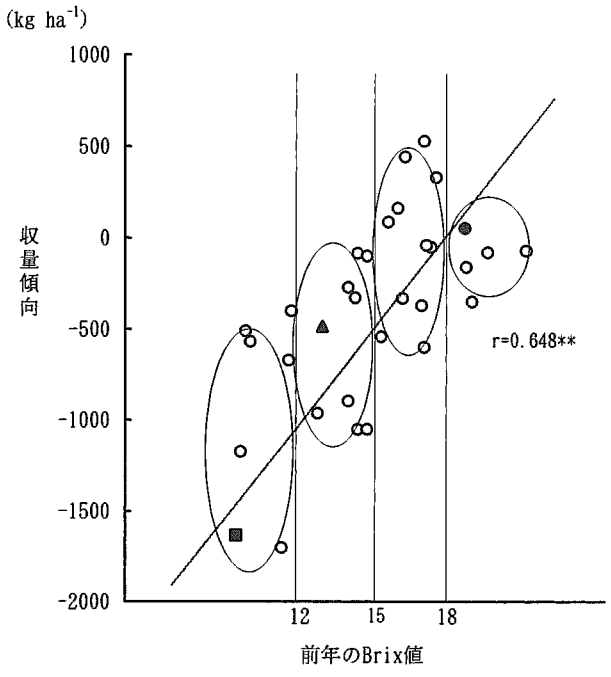

図6－2　根のBrix値と収量傾向との関係

収穫日数と負の関係にあり，収穫期間を短縮することによってBrix値を高めることができ，10日間の短縮によっておよそBrix値を2.5%程度高めることが可能とみられた．

ところで,根の糖を高速液体クロマトグラフィー(HPLC)で分析した値とBrix計で測定した値には高い相関が認められ（r＝0.768＊＊，n＝311），根の糖はBrix値で充分代用できると考えられた．

以上のことから，前年の秋期に比較的簡易に測定可能なGIと根のBrix値を用いて，翌年以降の生産性の予測が可能と考え，これらの要因を組み合わせた収穫期間の基準を表6－2のように作成した．たとえばGIが5464で，Brix値が19.2%の時（図6－2中の●印，以下同）は収量は4000kgha^{-1}以上であり，収量傾向も0付近で，このような場合は50日間前後の収穫期間を保つことにより安定的な生産が見込まれる．またGIが2469で，Brix値が13.2%の時（▲）は収量は2500kgha^{-1}，収量傾向は年間500kgha^{-1}のマイナスである．これを収量レベルが4500～6000kgha^{-1}で収量傾向が0付近の●の点に近づけるためには，収穫期間とGIおよび根のBrix値との関係から，収穫期間を30日間ほど短縮した20日間程度にとどめる必要がある．GIが1711で，Brix値が9.6%の時（■）は収穫期間の短縮では収量を回復することは困難であり，廃耕する必要があると考えられた．

この基準により翌年の収穫期間を圃場毎に設定し，その状態にあった管理を行うことによってアスパラガスの安定的な生産が可能と考えられる．

アスパラガスの収穫期間に関する研究は古くからなされてきたが，試験地の気象によりその出された基準は様々であった．つまり温暖な気候で秋冬季にもアスパラガスが枯死せず生育するような地方では，収穫期間をある程度長くしても茎葉が十分に同化産物を根部に集積できる．ところが北海道のように春の融雪期も遅く，10月下旬の降霜のため茎葉が枯死したりするような地方では生育期間がかなり限られたものとなる．さらに北海道内でも地域によって降霜などの時期が異なるために，慣行的な収穫日数を採用してきた．また，翌年の生産に必要な同化産物量は光合成の場である茎葉の量とその光合成活性が維持されている期間の積で表現されると考えられる．従って，茎葉が生育途中で病害や倒伏などでダメージを受けた場合，これまでの茎葉の生育量だけで同化産物の集積量を推定することは困難である．ここで示した基準は茎葉の量を表す生育指数と同化産物の集積を表す根部のBrix値によって示したため，地域間の気象的要因や土壌条件，生育途中の障害を含めて評価できるものと考えられる．

表6－2　アスパラガスの収穫期間の設定基準

秋の生育指数	秋の根のBrix値	収穫期間
4,000以上	18%以上	約50日間＊
〃	15～18%	約40日間
〃	12～15%	約30日間
〃	12%以下	約20日間
2,000～4,000	18%以上	約40日間
〃	15～18%	約30日間
〃	12～15%	約20日間
〃	12%以下	無収穫
2,000以下	18%以上	約30日間
〃	15～18%	約20日間
〃	12～15%	無収穫
〃	12%以下	廃耕

（＊この時の収量レベルは4500～6000kg ha^{-1}）

一方，光合成産物を集積する場である根は充分に発達していることが，緩衝力を増すことになり，生産の安定に不可欠と考えられる．本研究の結果では，土壌型により根量や糖含有率に差があり，収穫のプレッシャーの強弱による根重や根の糖含有率の反応が土壌型により異なっていた．これは根の拡大に土壌の理化学的要因が深く関与しているためと考えられる．

最近は新しい品種の選定[25]やそのような品種に対応した栽培技術の確立および茎葉を繁茂させながら収穫する立茎栽培や夏秋取り栽培[2,40,69]，ハウス栽培による前進栽培など新しい栽培技術の試みもなされているが，本研究で示した茎葉による光合成産物の動態と根における集積糖類の生理的機作に立脚することによって，それぞれの栽培技術に対応することが可能となるものと期待する．

第Ⅶ章　要　　約

1　アスパラガス主要産地の土壌および根群分布の実態

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と根群分布の実態を調査した．

(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，根が進入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．

(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った．

2　アスパラガスの周年的生育・栄養特性

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，若茎の収穫により減少し，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，P_2O_5:60，K_2O:120kgha^{-1}であった．

(4)　根部に集積する糖類として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，そのピークはこの期間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ともなって低下し，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．

3　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

茎葉繁茂初期にアスパラガスの地上部全体に$^{14}CO_2$を同化させ，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)　全植物体の比活性に対する各器官の比活性の指数から判定した，相対的シンク強度は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.

4 収穫期間がアスパラガスの生産性および根部貯蔵糖類の特性に及ぼす影響

北海道各地のアスパラガスの主要産地，6地域，9圃場に収穫期間処理を4段階設定し，3年から5年間にわたって生育，収量，若茎の糖含有率，根量，根の糖類に及ぼす影響を調査した.

(1) 若茎収量は収穫期間の長短に左右され，収穫期間処理開始当初では収穫期間が短くなると少なく，延長されると増加したが，年次の経過にともない長期収穫期間処理では急速に減収した.

(2) 若茎の平均一茎重は処理2年目以降では，収穫期間が長いほど減少し，収穫期間の長期化は一茎重の大きい規格品率の低下をもたらした.

(3) 秋季の生育量である生育指数（GI）は収穫期間が短くなるほど大きく，収穫期間が長くなるほど，より急速に低下した.

(4) 若茎に存在する糖はフルクトース，グルコースおよびスクロースのみであり，フルクトースが最も多く，次いでグルコースであり，スクロースは最も少なかった．フルクタンの集積は認められなかった．部位別糖含有率は基部で最も高く，次いで中位で高く，先端では最も低かった．収穫時期別糖含有率は収穫前期で高く，収穫中期から後期にかけて低下した．収穫期間が長くなるほど若茎の糖含有率は低下した.

(5) 根重は収穫期間が長くなるに伴って減少した.

(6) 根の全糖含有率は収穫期間が長くなるに伴って低下した．生育年数が少ないほど収穫期間の延長に伴う根の全糖含有率の低下度合は著しかった.

(7) 根部糖類組成は，収穫期間終了直後では重合度の高い糖の割合が低かったが，茎葉繁茂期後半では重合度が高い糖の割合が上昇した．収穫期間処理についてみると，越冬直前において収穫期間が短い処理区では重合度の高い糖の割合が高かったが，収穫期間が長い処理区では低かった.

(8) 越冬前の根における重合度別の糖含有割合は，収穫期間が長くなると単糖類と二糖類の割合が上昇し，逆に重合度5以上のオリゴ糖割合が低下した.

(9) 一日あたりの収量と前年秋季の根における重合度別糖含有率との間には二糖類以下の糖では相関は全く認められなかったが，重合度3以上の糖とには正の相関関係が認められた.

(10) 以上の結果から，アスパラガスの低収要因として収穫期間の長期化が挙げられ，適正な収穫期間の設定が必要であると考えられた.

5 アスパラガスの合理的生産性向上方策

根群実態調査とそれに基づく新しい土壌改良法について検討した．さらに，収穫期間処理によるアスパラガスの生育，生産性および根の糖類集積から収穫期間設定の基準を作成し，合理的生産性向上のための方策を提案する.

(1) 生産性が低い圃場は土壌改良資材の偏在および作土層と理化学性不良層との混和不足が要因として挙げられ，対策として新植時における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.

(2) アスパラガスの低収要因として収穫期間の長期化が挙げられ，適正な収穫期間の設定を検討した．一日当たりの収量は前年秋季の生育指数と高い正の相関があり，また，年次経過に伴う収量増減の傾向（収量傾向）は前年秋季の根のBrix値と高い正の相関関係にあった．そこで，前年秋季の生育指数3段階と根のBrix値4段階を組み合わせた指標を用いた収穫期間設定の基準を作成・提案した.

(3) アスパラガスの生産性と永続性を図るためには容量因子である根群の拡大を確保することと，強度因子として根に蓄積される糖類を充実させる必要がある．そのためには新植時の全面深耕法による土壌改良と2つの指標を組み合わせた収穫期間の設定基準の利用が重要である.

引　用　文　献

1）阿部一男・新岡亮：アスパラガスの適正収穫　新収穫基準の設定．北農．**55(10)**，38-45（1988）

2）荒井義光：アスパラガスの秋どり栽培に関する研究；Ⅰ茎葉刈り捨て時期別収量と貯蔵根内養分の推移，東北農業研究．**37**，251-252（1985）

3）荒又　操：北海道農業の研究，65-99（1948）

4）Blumenfield, D., Meinken, K. W. and Lecompte, S. B.: A field study of asparagus growth. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., **77**, 386-392 (1961)

5）Bouwkamp, J. C. and McCully, J. E. : Competition and survival in female plants of Asparagus officinalis L., J. Amer. Soc. Hort. Sci., **97**, 74-76 (1972)

6）Brasher, E. P. : Effects of spring, summer and fall cutting of asparagus on yield and spear weight. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., **67**, 377-383 (1956)

7）Chang, D. C. N. : Fine structural changes of asparagus spear during strage. Acta. Hort., 138. 305-312 (1983)

8）Clore, W.J., Carter, G. H. and Drake,S.R. : Pre-and postharvest factors affecting textural quality of fresh asparagus. J. Amer. Soc. Hort. Sci., **101**. 576-578 (1976)

9）Culpepper, C. W. and Moon, H. H. : Effect of temparature upon the rate of elongation of the stems of asparagus grown under field conditions. Plant Physiol., **14**, 255-270 (1939)

10）Dogras, C. and Itskos, A. : Seasonal changes of dry matter and carbohydrates in the storage roots of asparagus, Adv. Hortic. Sci., **6**, 74～76 (1992)

11）土壌養分測定法委員会編：土壌養分分析法．養賢堂．東京．（1976）

12）Downton, W. J. S. and Torokfalvy ; Photosynthesis in developing asparagus plants, Aust. J. Plant Physiol., **2**, 367-375 (1975)

13）Dufault R. J. : Impact of Forcing Summer Asparagus in Coastal South Caro-lina on Yield, Quality and Recovery from Harvest Pressure, J. Am. Soc. Hortic. Sci., **119**, 396-402 (1994)

14）Ellison, J. H. and Scheer, D. F. : Selecting Superior asparagus plants on basis of earliness, Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., 72, 353-359 (1959)

15）Ellison, J. H., Horward, O. and Scheer, D. F. : Yield related to bush vigor in asparagus. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., **75**, 411-415 (1960)

16）Espie, G. S. and Colman B. ; Photosinthesis and inorganic carbon transport in isolated asparagus mesophyll cells, Plant Physiol., **70**, 649-654 (1982)

17）Haynes,R.J. : Accumulation of dry matter and changes carbohydrate and amino acid content in the first 2 years of asparagus growth, Sci. Hortic., **32**, 17～23 (1987)

18）日笠裕治・村松裕司・峰岸恒弥：リンゴわい性台樹の生育，収量および果実品質におよぼす窒素施用量の影響，北海道立農試集報．**55**，23-31（1986）

19）日笠裕治・今田成雄：トマトの^{14}C－光合成産物の挙動に及ぼす培地窒素濃度の影響，土肥誌．**64**，377～384（1993）

20）日笠裕治・鎌田賢一：アスパラガスの周年的養分吸収特性，土肥誌．**65**，34～40（1994）

21）日笠裕治・今田成雄：茎葉繁茂初期のアスパラガス根部における糖含量と^{14}C－光合成産物の分配，土肥誌．**66**，609～616（1995）

22）Hikasa, Y. : Diagnostic technique for nitrogen nutrition of cabbage to increase sugar concentration, Plant nutrition-for sustainable food production and environment, ed. T. Ando et al.,Kluwer Academic Publishers, Japan. p. 369-370 (1997)

23）平沢文人・鎌田嘉孝・翠川道夫：アスパラガス定植時における有機物の施用効果，長野県野菜花き試験場報告．**2**，43-50（1982）

24）平山俊一・今田成雄・施山紀男・三浦周行：アスパラガスの光合成及び転流・蓄積の秋期における推移，野菜・茶試生理生態部年報．**3**，16～17（1990）

25）平山俊一・野口敏治・一万田賢治：アスパラガスの長期取り栽培の適品種，九州農業研究成果情報．**9**，313-314（1994）

26）北海道アスパラガス協会：アスパラガスの栽培に関する試験成績集，88-93（1976）

27）北海道農業試験場会議：土壌および作物栄養の診断基準（改訂版）．12-13（1989）

28）北海道農政部：アスパラガス「優勢系統」に関する試験成績．（1981）

29）北海道立農業試験場：総合助成試験成績書，アスパ

ラガス畑の土壌改良による永続多収技術の確立に関する試験.（1981）
30）北海道立中央農業試験場：アスパラガス畑の土壌改良に関する試験．昭和56年度普及奨励ならびに指導参考事項，北海道農務部．93-114（1981）
31）北海道立中央農業試験場：野菜畑土壌の加里肥沃度に対応した施肥法．平成元年度普及奨励ならびに指導参考事項．北海道農務部．（1989）
32）北海道立中央農業試験場・北海道農政部農業改良課：土壌および作物栄養の診断基準（分析法）．（1992）
33）北海道立中央農業試験場：アスパラガスの収量衰退現象の解明と対策試験．平成７年度普及奨励ならびに指導参考事項．北海道農政部編．p.152-155（1995）
34）北海道青果物価格安定基金協会：野菜関係資料．p.29（1991）
35）北海製罐罐詰研究所：試験成績．85-97（1991）
36）Howlett, F. S. : The effect of carbohydrate and of nitrogen deficiency upon microspogenesis and the development of the male gametophyto in the tomato Lycopersicum esculentum, Ann. Bot., **50**, 767-804 (1963)
37）今田成雄・施山紀男・宍戸良洋・三浦周行：トマト果実内における糖含量と^{14}Cでラベルされた糖の同時定量による糖代謝の解析．園学要旨．昭63秋．324-325（1988）
38）今田成雄・施山紀男：トマトにおける^{14}C－光合成産物の化学形態，園学雑．**59別2**，388-389（1990）
39）稲垣　昇・津田和久・前川　進・寺分元一：アスパラガスの光合成に及ぼす光強度，CO_2濃度及び温度の影響，園学雑．**58(2)**，369～376（1989）
40）伊藤悌右・今中義彦・長谷川繁樹・船越建明：西南暖地におけるグリーンアスパラガスの栽培に関する研究　第１報　収穫と株養成を平行させる母茎留茎栽培の収量性について，広島県立農業技術センター研究報告．**60**，35-45（1994）
41）Jones,H.A. and Robbens,W.W. : Growing and handling asparagus crowns, Calif. Agric. Exp.Stn.Bull., **381**, 1～24 (1924)
42）篭橋　悟・狩野広美・影山美葵陽：養分吸収制限が秋作及び春作における温室メロンの生育及び果実に及ぼす影響について，園学雑．**50**，306-316（1981）
43）金森哲夫：作物の品質と栄養生理，農業技術体系土壌施肥編．２．p.147-152，農山漁村文化協会，東京（1991）
44）菊地　晃二：泥炭土，特徴的土壌にみる土地利用技術，農業技術体系　土壌肥料科編．３．土壌と利用Ⅳ，115-119，農山漁村文化協会．東京（1987）
45）金　永植・崎山亮三・田附明夫：アスパラガス若茎の伸長生長に及ぼす気温の影響と若茎重の推定，園学雑．**58(1)**，155-160　（1989）
46）金　永植・崎山亮三：アスパラガス若茎の生長に対する肥料及び光の影響，園学雑．**58(1)**，161-166（1989）
47）金　永植・崎山亮三：アスパラガス若茎の伸長生長に及ぼす貯蔵根の量及び温度の影響，園学雑．**58(2)**，377-382（1989）
48）金　永植・崎山亮三：アスパラガス貯蔵根における発芽前後の糖の変化，園学雑．**58(2)**，383-390（1989）
49）小餅昭二：種子の温度処理に関する研究，（第１報）アスパラガス種子の発芽に及ぼす温度処理の効果，北海道農試彙報．**70**，42-55（1956）
50）小餅昭二：種子の温度処理に関する休眠性と発芽温度の変化，北海道農試彙報．**73**，9-19（1957）
51）Legard,S.F,Sprosen,M.S., Douglas,J.A. and Follett, J.M. : Influence of time of application on the utilization of nitrogen fertilizer by asparagus, estimated using 15N. Plant Soil., **147**. 41-47 (1992)
52）Lin,A.C. ; The physiological characteristics of asparagus officinalis, Memoirs College Agri.,National Taiwan Univ., **23**, 57-66 (1983)
53）Martin,S. and Hartmann,H.D. : The content and distribution of the carbohydrates in asparagus. Acta Hortic., **271**, 443-449(1990)
54）丸山　進：アスパラガス促成栽培における収量構成要因と根株の評価基準，今月の農業．**36(2)**，71-75（1992）
55）桝田正治・瀧口　武・松原幸子：培養液濃度がトマトの収量と品質および養液成分の濃度変化に及ぼす影響，園学雑．**58(3)**，641-648（1989）
56）松丸恒夫・米山忠克・石塚潤爾・松岡義浩：トマトの生育への影響と窒素の集積および同化，土肥誌．**58**，465-472（1987）
57）松本賢英・鈴木　卓・原田　隆：アスパラガス若茎組織における糖含量の品種・系統間差，北海道園芸研究談話会報．**27**，22-23（1994）
58）皆川裕一：アスパラガスの品種に関する諸問題（1）：農業および園芸．**68**，804-808（1993）
59）皆川裕一：アスパラガスの品種に関する諸問題（2）：農業および園芸．**68**，894-898（1993）
60）皆川裕一：アスパラガスの品種に関する諸問題（3）：農業および園芸．**68**，1011-1015（1993）

61) 三浦吉則・吉岡邦男・佐藤紀男：アスパラガスの栄養生理と施肥改善技術の確立，Ⅰ会津地方におけるアスパラガス栽培畑の土壌実態，東北農業研究．**40**，315-316（1987）

62) Mizahi, Y., Taleisnik, E., Kagan-zur, V., Zohar, Y.,Offembach, R., Matan, E. and Golan, R. : A saline irrigation regime for improving tomato fruit quality without reducing yield. J. Amer. Soc. Hort. Sci., **113**, 202-205 (1988)

63) 森　敏：食品の質に及ぼす有機物施用の効果，有機物研究の新しい展望，日本土壌肥料学会編．p.85-137，博友社．東京．（1986）

64) 村田隆一：モモの施肥と品質に関する研究，滋賀県農試特別研究報告．12，（1979）

65) 永井　信：起源と来歴，北海道のアスパラガスの栽培技術，小餅昭二編．p.51-61，農業技術普及協会刊行，江別（1985）

66) 中村保典：炭水化物代謝，現代植物生理学２，代謝宮地重遠編．p.109-134，朝倉書店．東京．（1992）

67) 西宗　昭：畑作物の栄養と施肥，北海道農業と土壌肥料1987．日本土壌肥料学会北海道支部編．p.250-259，北農会．札幌．（1987）

68) 農林水産省北海道統計情報事務所：北海道農林水産統計年報（青果物編）．（1957-1997）

69) 大串和義・松尾孝則・田中龍臣，アスパラガスの長期採り栽培における立茎本数と立茎時期，九州農業研究成果情報．**9**，311-312（1994）

70) 大崎　満：植物体有機成分の粗分画と定量，植物栄養実験法，植物栄養実験法編集委員会編，博友社．東京．p.204-217，（1990）

71) Park,S.K. and Yoon,W.M. : Studies on photosynthesis and respiration in relation to the growth of asparagus officinalis, J.Kor.Soc.Hort., **166**, 53-58 (1975)

72) Pollock,C.J. : Physiology and metabolism of sucrosylfructans; In Storage Carbohydrates in Vascular Plants, ed. D.H.Lewis, p.97-114, Cambridge Univ. Press, Cambridge (1984)

73) Pressman,E.,Schaffer,A.A.,Compton,D. and Zamski,E. : Seasonal changes in the carbohydrate content of two cultivars of asparagus. Sci. Hortic., **53**, 149～155 (1993)

74) Robbins,W.W and Jones,H.A. : Sex as a factor in growing asparagus, Soc. Hort. Sci., **25**, 13-16(1928)

75) 六本木和夫：果菜類の栄養診断に関する研究（第２報）葉柄汁液の硝酸態窒素濃度に基づイチゴの栄養診断，埼玉園試研報．**19**，19-29（1992）

76) 六本木和夫：果菜類の栄養診断に関する研究（第１報）葉柄汁液の硝酸態窒素濃度に基づキュウリの栄養診断，埼玉園試研報．18，1-15（1991）

77) 六本木和夫：栄養診断の現状と課題，園芸作物とくに果菜類について，季刊肥料．**69**，80-86（1994）

78) 作物分析法委員会編：栽培植物分析測定法，p.272～343，養賢堂．東京．（1975）

79) 佐藤　洋・原田　隆・八鍬利郎：アスパラガスの形態形成に関する研究，若茎各部位の組織培養における器官形成，北大農邦文紀．**14**，76-89　（1983）

80) 佐藤滋樹・山吹一芳：アスパラガスの育苗試験（第3報）苗の大きさが収穫時期におよぼす影響について－その後の経過について－，北海道園芸研究談話会報．**10**，50～51（1977）

81) 沢田英吉・八鍬利郎・岩城　昇：アスパラガスの栽培に関する研究（第１報）苗の定植に関する2，3の試験成績Ⅰ，農及園．**35(4)**，719-720（1960）

82) 沢田英吉・八鍬利郎・岩城　昇：アスパラガスの栽培に関する研究（第２報）苗の定植に関する2，3の試験成績Ⅱ，農及園．**35(7)**，1165-1166（1960）

83) 沢田英吉：アスパラガス，蔬菜生産技術５，p.95-98，誠文堂新光社．東京．（1962）

84) 沢田英吉：アスパラガス：栽培，Ⅵ．収穫，誠文堂新光社．224-279（1962）

85) Scott,L.E.,Mitchell,J.H. and McGinty,R.A. : Effect of certain treatments on the carbohydrate reserves of asparagus crowns. South Carolina Agric. Exp. Stn. Bull., **321**, 5～36 (1939)

86) Shelton,D.R. and Lacy,M.L. : Effect of harvest duration on yield and on depletion of storage carbohydrates in asparagus roots. J. amer. Soc. Hort. Sci., **105 (3)**, 332-335 (1980)

87) 嶋田永生：野菜の栄養生理と土壌．p.205-244，農山漁村文化協会．東京（1976）

88) 塩見徳夫：アスパラガス（Asparagus officinalis L.）根のFructosyltransferasesに関する研究．北大農邦文紀．**13**，242-316　（1982）

89) 園田高広・大和田正幸：簡易生育量調査法によるアスパラガス収量の推定．園芸学雑誌．**67(別2)**，350（1998）

90) Sosa-Coronel,J.,Vest,G. and Herner,R.C. : Distribution of fiber content in asparagus cultivars. HortScience., **11**. 149-151 (1976)

91) 相馬　暁・多賀辰義・石井忠雄・平井義孝・岩渕晴

郎：北海道・道央地区における野菜栽培土壌の実態とその問題点について．北海道立農試集報．**44**，25-36 (1980)

92) 相馬 暁：北海道における野菜栽培土壌に対する土壌診断技術確立に関する研究（第1報），北海道における野菜栽培の現状と道央地区の野菜栽培土壌の実態．北農．**48**，15-34 (1981)

93) 鈴木 卓・田村春人・原田 隆・阿部 浩：アスパラガス若茎組織内糖含量の測定部位，採取時期，品種及び保存温度による差異．北海道園芸研究談話会報．26，34-35 (1993)

94) 多賀辰義：アスパラガス畑の土壌実態と肥培管理，北農，**47(2)**，12-23 (1980)

95) 多賀辰義・岩淵晴郎・山吹一芳・佐藤滋樹：アスパラガスの生育に及ぼす環境要因の解析，第1報．若茎収穫期間の短長と貯蔵根中の炭水化物濃度及び収量．北海道立農試集報．**43**，63-71 (1980)

96) 多賀辰義・関口久雄・岩淵晴郎：アスパラガスの生産性と土壌型との関係．北農．**48**，1-23 (1981)

97) 多賀辰義・関口久雄・三木英一・山谷吉蔵・岩淵晴郎・山吹一芳・佐藤滋樹：アスパラガス新植畑の土壌改良法．北農．**48**，19-38 (1981)

98) 多賀辰義・関口久雄・三木英一・山谷吉蔵・岩淵晴郎・山吹一芳・佐藤滋樹：アスパラガス既成畑の土壌改良法．北農．**49**，26-39 (1982)

99) 多賀辰義・関口久雄・岩淵晴郎：アスパラガスの生産性に及ぼす環境要因の解析（第2報），土壌型の特性と生産性，特に根群分布と土壌肥沃度との関係．北海道立農試集報．**47**，66-77 (1982)

100) 多賀辰義・相馬 暁・畑山 紀・中村正士：北海道における野菜栽培土壌に対する土壌診断技術確立に関する研究(第3報)，アスパラガス畑の実態と生産性．北農．**50**，1-22 (1983)

101) 多賀辰義・関口久雄・山吹一芳・佐藤滋樹：アスパラガスの若茎収穫期間が生育相および収量に及ぼす影響．北農．**51(7)**，21-34 (1984)

102) 多賀辰義・関口久雄：アスパラガスの生育に及ぼす環境要因の解析，Ⅲ．生育相および養分吸収に及ぼす窒素供給時期の影響．北海道立農試集報．**52**，25-30 (1985)

103) 多賀辰義・中村勝博・池田信：アスパラガス既成畑の下層土改良．北農．**61**，395-397 (1994)

104) 高橋市十郎・前田 要・関口久雄：アスパラガス畑の施肥法改善（第1報），三要素施肥量の影響について．土肥要旨集．**32**，198 (1986)

105) 高橋市十郎・前田 要・関口久雄：アスパラガス畑の施肥法改善（第2報），窒素施用量および施肥時期の影響について．土肥要旨集．**32**，151 (1986)．

106) 田中昭夫・長岡正昭：アスパラガスの光合成に及ぼす光強度と温度の影響．園学雑．**61別1**，268-269 (1992)

107) 谷口健雄：加工用バレイショの肥培管理と品質：土肥誌．**63**，723-727 (1992)

108) Tiedjen,V.A. : Some physiological aspects of asparagus officinalis. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., **21**, 129-140 (1925)

109) 土屋一成：アスパラガスにおけるアレロパシー研究の現状．農業及び園芸．**64(3)**，373-378 (1989)

110) 上杉とし和・小澤智美・松木宏司・小口伴二：アスパラガスアレロパシーを軽減する改植技術．長野県野花試報告．**10**，35-40 (1997)

111) Wagner,W. : Hydroculture for forcing Asparagus officinalis L.. Gartenbauwissenschaft. **44**. 277-280 (1979)

112) Weaver,J.E. and Bruner,W.E. : Root development of vegetable crops, 1st ed., 59-69, McGraw-Hill Book Comp. Inc., London (1927)

113) Worthington,J.T and SmithW.L. : Effect of root trimming and storage containers on field survival and yield of asparagus plants. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci., **89**, 346-349 (1966)

114) 八鍬利郎：生育のステージと生理生態，農業技術体系 野菜編追録，アスパラガス．p.13-25，農山漁村文化協会．東京．(1978)

115) 八鍬利郎・原田 隆・高橋義雄・田村春人・秋南栄一・多賀辰義・山谷吉蔵・佐藤滋樹・山吹一芳・山川 潔：アスパラガスの性状に関する研究（第2報），3年性及び6年性株の根系について．北大農邦文紀．**13**，102-108 (1982)

116) 八鍬利郎・原田 隆・高橋義雄・田村春人・秋南栄一・山谷吉蔵・大矢根敏夫・佐藤滋樹・皆川裕一・山川 潔：アスパラガスの性状に関する研究（第3報），ソイル・ブロック分割法による12年性株の根系調査．北大農邦文紀．**13**，433-440 (1982)

117) 八鍬利郎・原田 隆・飛世昌江：アスパラガスの形態形成に関する研究，培養の茎頂ならびに節部切片の培養における器官形成．北大農邦文紀．**14**，174-186 (1984)

118) 八鍬利郎：栽培上の特性，農業技術体系 野菜編8，アスパラガス．p.14-16，農山漁村文化協会．東京．(1986)

119) 八鍬利郎：アスパラガスの一生，農業技術体系野菜編8，アスパラガス．p.22-24，農山漁村文化協会．東京．(1986)

120) 山吹一芳・佐藤滋樹・渡辺勝敏：アスパラガスにおける諸形質の関係（第1報）個体別収量と諸形質の関係．北海道園芸研究談話会報．**11**，4-5（1978）

121) 山吹一芳・佐藤滋樹・渡辺勝敏：アスパラガスにおける諸形質の関係（第2報）有機質資材処理による収量と諸形質の関係．北海道園芸研究談話会報．**11**，6-7（1978）

122) 山吹一芳・佐藤滋樹：異常低温年におけるアスパラガスの収量に関する一，二の考察．北海道園芸研究談話会報．**15**，60-61（1982）

123) 山吹一芳・佐藤滋樹・皆川裕一・多賀辰義・関口久雄：アスパラガスの周年生育調査による特性解析．北海道園芸研究談話会報．**17**，15-16（1984）

124) 山吹一芳：アスパラガスの栽培環境，北海道のアスパラガスの栽培技術．小餅昭二編．p.27-29，農業技術普及協会刊行．江別（1985）

125) 山吹一芳：収穫，北海道のアスパラガスの栽培技術．小餅昭二編．p.47-51，農業技術普及協会刊行．江別（1985）

126) 山吹一芳：収量に関する諸要因，北海道のアスパラガスの栽培技術．小餅昭二編．p.51-61，農業技術普及協会刊行．江別（1985）

127) 山田良三・加藤俊博・井戸　豊・関　稔・早川岩夫：リアルタイム土壌・栄養診断に基づくトマトの効率的肥培管理（第1報）葉柄汁液の硝酸濃度に基づく診断基準の作成．愛知農総試研報．**27**，205-211（1995）

128) 山田良三・加藤俊博・井戸　豊・関　稔・早川岩夫：リアルタイム土壌・栄養診断に基づくトマトの効率的肥培管理（第2報）持続的生産のための施肥管理技術．愛知農総試研報．**28**，133-140（1996）

129) 山本茂雄・佐藤滋樹・山吹一芳：アスパラガスの育苗試験（第1報）ペーパーポット利用による育苗．北海道園芸研究談話会報．**3**，29-30（1970）

130) 山本茂雄・佐藤滋樹・山吹一芳：アスパラガスの育苗試験（第2報）苗の大きさが収穫時期におよぼす影響について．北海道園芸研究談話会報．**3**，31-32（1970）

131) 矢野昌充・伊藤　洋・速水昭彦・小濱節雄：野菜の品質に及ぼす栽培条件の影響に関する研究．野菜試報告．**A8**，53-67（1981）

132) 米山忠克・石川隆之・建部雅子・正岡淑邦：植物生体液の溶質濃度：汁液栄養診断の基礎．農業及び園芸．**70**，951-957（1995）

133) 吉岡　宏・高橋和彦・新井和夫・長岡正昭：果菜類における光合成産物の動態に関する研究　Ⅰトマトの^{14}C同化産物の転流・蓄積に及ぼす夜温，地温並びに生育中の照度，N濃度処理の影響．野菜試報告．**A3**，31-41（1977）

Study on Growth Properties and Continuous Production Based on Sugar Accumulation Properties in Roots of Asparagus

Yuji HIKASA

Since 1981, the yield of asparagus, which is one of the major vegetables grown in Hokkaido, has been decreasing but the reason has not been clarified yet. Thus this study aims at clarifying the growth properties and sugar accumulation properties in the root of asparagus and investigating the physicochemical properties of the soil and the root distribution in the major asparagus production areas in Hokkaido to thereby present measures to rationally improve the productivity of asparagus.

1. Situations of soil and root distribution in major asparagus production areas

Soil samples were collected from 250 points in 8 major asparagus production areas and the chemical properties of these soil samples were examined. As a result, 61% of the fields showed pH value of 6.0 or below, 43% of the fields showed exchangeable CaO content of 200mg/100g or below, and 9% of the fields showed available phosphate content of 15mg/100g or below.

When fields differing in productivity were investigated, fields with high productivity showed large root quantities while those with low productivity showed small root quantities. In asparagus fields with low productivity, soil amendments stayed just below asparagus stocks and thus disturbed the elongation of the roots. Namely, the uneven distribution of soil amendments and insufficient mixing of the plow layer with the layer having poor physicochemical properties caused the low productivity.

2. Annual growth/nutritional properties of asparagus

Dry foliage weight attained the maximum level in summer and decreased in late autumn and early spring. Dry root weight widely varied depending on growth time. Namely, it showed a drastic decrease due to the harvest and then increased. Immediately before wintering, the dry root weight amounted about twice as much as the level immediately after harvesting. Nutrients were accumulated in the shoots intensively immediately after harvesting to the foliage growing time. Immediately before wintering, the nutrients accumulated in the shoots transfer into the roots. Inorganic nutrients in the roots decreased due to the harvest and then showed an increase before wintering and this pattern was observed repeatedly. Based on these results, the amounts of nutrients needed for annual fertilizer application were estimated as follows: N 200kg/ha, P_2O_5 60kg/ha, K_2O 120kg/ha.

Among sugars accumulated in the roots, non-reducing sugars amounted to the largest part. Although the content of the non-reducing sugars rapidly decreased due to the harvest, it increased again after the foliage growing time and attained immediately before wintering to the level about thrice as much as the level at the completion of harvest.

The harvest reached its peak around the middle of May to the beginning of June. The peak agreed with the air temperature and the earth temperature during this period. No increase in the yield was observed after this period.

3. ^{14}C-photosynthates distribution and sugar accumulation in roots in the early luxuriant stage

New storage root showed the largest total sugar content followed by old storage root base, old storage root tip, crown and absorbing root in this order. In the storage root, sucrose amounted to a large part in the total sugars followed by fructans of 3 and 4 degrees of polymerization. New storage root showed the largest content of fructans

with high degree of polymerization, while absorbing root showed an extremely small content of fructans with high degree of polymerization.

18 hours after assimilation, ^{14}C much remained in leaves and main stem that are assimilation parts. 20% of ^{14}C transferred into the roots. In the roots, ^{14}C was distributed at high ratios in the old storage root and the absorbing root. Namely, it was much distributed in the part absorbing moisture and nutrients and the storage root. The leaves showed the highest relative strength as a sink of 230, which was judged on the basis of the relative activity index of each organ to the relative activity of the whole plant. The whole root showed relative strength as a sink of 40 while the absorbing root and the new storage root showed each a relative strength as a sink exceeding 100. These facts indicated that the assimilated photosynthesis products transferred preferentially into these new tissues in the roots.

The ^{14}C contained in the roots mostly occurred as sugars, but the rate was different in each region. In new tissues such as the absorbing root and the new storage root, ^{14}C was much observed in the alcohol-insoluble fraction, organic acids and amino acids, while it was observed mostly in sugars in the old storage root. It was therefore assumed that the old storage root would serve as an organ for storing sugars.

Although the absorbing root showed an extremely low fructan content, ^{14}C was contained in fructans having degree of polymerization of 3 or above in the absorbing root. Sucrose amounted to the major part of the sugars transferring into the roots. However, conversion into fructans having degree of polymerization of 4 or above was already observed in each organ, though only a short time (18 hours) had passed after the assimilation. Thus, it was proved that the conversion into fructans proceeded quickly.

4. Effects of harvesting period on the productivity of asparagus and properties of sugars stored in the roots

The yield varied depending on the length of the harvesting period. At the early stage of the harvest, the yield decreased as the harvesting period was shortened and increased as the harvesting period was prolonged. As years passed by, the yield rapidly decreased when the harvest was carried out for a long time. In autumn, the foliage growth was enhanced as the harvesting period was shortened but rapidly depressed as the harvesting period was prolonged.

From the second year, the average spear weight decreased as the harvesting period was prolonged. Namely, a prolonged harvesting period brought a lowered percentage of marketable yield. As sugars, spear contained exclusively fructose, glucose and sucrose. Fructose amounted to the largest part followed by glucose and sucrose in this order. No fructan was accumulated in spear. As the harvesting period was prolonged, the sugar content in spear was lowered.

The root weight decreased as the harvesting period was prolonged. The total sugar content in the roots was lowered as the harvesting period was prolonged and this lowering rate became the more remarkable in plants grown in the smaller number of years.

With respect to the sugar composition in the roots, the content of sugars having high degree of polymerization was low immediately after the completion of the harvest. In the second half of the foliage growing time, however, the ratio of these sugars with high degree of polymerization was elevated. In the roots before wintering, the contents of monosaccharides and disaccharides were elevated while the content of oligosaccharides (degree of polymerization: 5 or above) was lowered. There was observed a tendency that when the content of sugars of degree of polymerization of 3 or above was high in the roots in the previous autumn, then the yield per day increased.

Based on these facts, the prolongation of the harvesting period has caused a decrease in the asparagus yield. It is therefore necessary to adequately set up the harvesting period.

5. Measures to rationally improve the productivity of asparagus

Overall deep plowing at the planting stage makes it possible to apply soil amendments (organic matters, phosphate materials, etc.) to the whole field and thus the soil in the deep layer can be softened. As a result, the root quantity is

enlarged and the stable growth of the shoots of plants is ensured, thereby elevating the productivity.

Yield positively correlates closely to the growth index in the previous autumn. Also, the tendency of the increase/decrease in yield with the passage of time positively correlates closely to the root Brix value in the previous autumn. Thus, we have constructed and proposed standards for setting up the harvesting period with the use of an indication wherein the growth index (expressed in 3 grades) is combined with the root Brix value index (expressed in 4 grades) in the previous autumn.

To achieve a high productivity of asparagus and sustain the high production level continuously, it is necessary to ensure the enlargement of roots (i.e., the volume factor) and to enrich sugars accumulated in the roots (i.e., the strength factor). It is important to utilize the standards for adequately setting up the harvesting period and the soil improvement by the overall deep plowing method at the planting.