



Title	移植テンサイの合理的栽培管理法に関する土壌肥料学的研究
Author(s)	井村, 悦夫
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	乙第5629号
Issue Date	2000-03-24
DOI	<a href="https://doi.org/10.11501/3168856">https://doi.org/10.11501/3168856</a>
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/51669">https://hdl.handle.net/2115/51669</a>
Type	doctoral thesis
File Information	000000354048.pdf



移植テンサイの合理的栽培管理法に関する  
土壌肥料学的研究

井村悦夫

移植テンサイの合理的栽培管理法に関する  
土壤肥料学的研究

井村悦夫

第 1 章	緒論	4
第 2 章	紙筒移植栽培における早期播種時期の限界と 生育期間が糖集積量に及ぼす影響	12
第 1 節	播種時期の影響	12
第 2 節	紙筒苗の苗齢と育苗後期の低温処理が本畑に おける耐霜性と糖集積量に及ぼす影響	18
第 3 節	根重と糖集積量に及ぼす播種時期と移植時期の 影響に関する現地調査	25
第 4 節	生育と糖集積量に及ぼす収穫時期の影響	27
第 5 節	まとめ	29
第 3 章	地上部の競合が糖集積量に及ぼす影響	31
第 1 節	十分な養水分供給条件における栽植密度が乾物 生産に及ぼす影響	31
第 2 節	畦幅，株間と栽植密度の影響	37
第 3 節	移植栽培による斉一な栽植の効果	40
第 4 節	移植栽培による欠株補償力	43
第 5 節	品種，窒素施肥量と栽植密度の影響	46
第 6 節	生育後期における茎葉の成長抑制が 生育と糖集積量に及ぼす影響	52
第 7 節	まとめ	56

第 4 章	窒素肥培管理法	58
第 1 節	無窒素栽培による窒素肥沃度の評価	58
第 2 節	地域別適正窒素施肥量の解明	69
第 3 節	硝酸吸収に及ぼすナトリウムとカリウムの効果	85
第 4 節	窒素施肥効果に及ぼす移植時期の影響	93
第 5 節	窒素施肥量が収穫時期の糖集積量の推移に 及ぼす影響	96
第 6 節	まとめ	103
第 5 章	リン酸肥培管理法	106
第 1 節	リン酸増肥育苗法	106
第 2 節	育苗時にリン酸を増肥したテンサイの本畑に おけるリン酸施肥反応	112
第 3 節	直播テンサイとリン酸増肥育苗テンサイの本畑 におけるリン酸施肥反応の比較	115
第 4 節	有効態リン酸含有率を異にする土壤における リン酸増肥育苗移植栽培法の効果	120
第 5 節	長期連作試験圃場における施肥リン酸の土壤 集積量	122
第 6 節	まとめ	123
第 6 章	土壤 pH 管理	125
第 1 節	土壤の pH が糖集積量に及ぼす影響	126
第 2 節	施肥に伴う土壤 pH の低下	128
第 3 節	炭酸石灰の作条施肥と粒状生石灰の作条 混和施肥の効果とその比較	130
第 4 節	まとめ	136

第 7 章	総合考察	-----	138
第 8 章	要約	-----	143
	謝辞	-----	147
	引用文献	-----	148

## 第 1 章 緒 論

北海道における近年のha当たりのテンサイ糖生産量は世界の最高水準にある（第1-1表）。その要因として、紙筒移植栽培の高い普及率、耕地の理化学性の改善、糖集積能の高い品種の育成と導入、紙筒育苗と本畑における施肥および完全防除体系の普及の徹底などを挙げることができる。

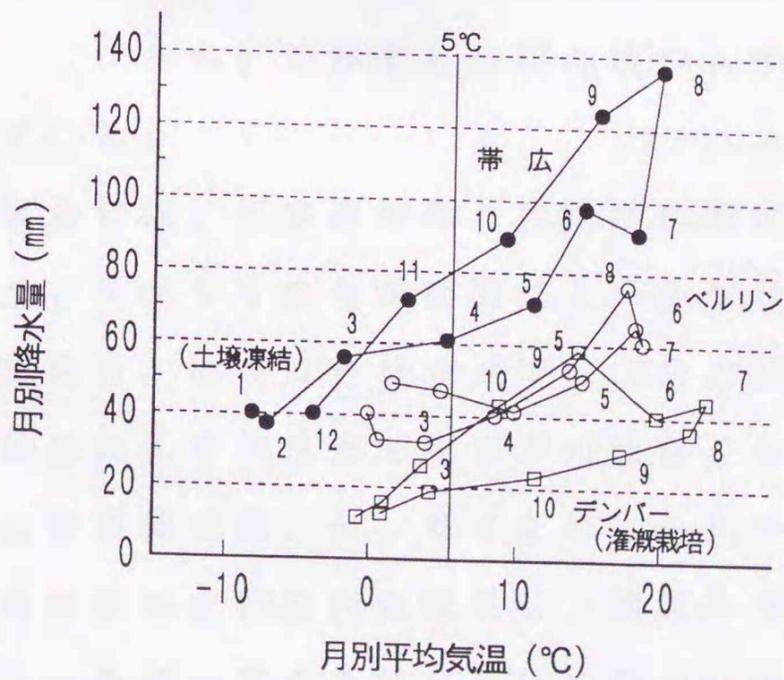
各種要因のなかでも移植栽培の寄与は大きい。平均気温と降水量の二元図（第1-1図）に示すように、北海道の気象条件は、世界の主要テンサイ栽培地域（ドイツ：ベルリン，アメリカ合衆国：デンバー）に比べ、平均温度が5℃以上のいわゆる有効温度の期間が短く、降水量が多い。主要テンサイ栽培地帯である北海道東部地域では土壌凍結も起る。増田<sup>58)</sup>は紙筒育苗によりテンサイの生育期間を延長することによって、このような不利な気象条件を克服した。畑作物としては世界に類を見ないテンサイの移植栽培が、普及の当初、直播に比べて労力を要するにもかかわらず、移植栽培法が持つ極めて安定した増収効果のために、テンサイ農家の支持を得てきた。

1945年から現在までの北海道のテンサイ栽培に関する概要を見ると、1961年に始まった紙筒移植栽培が、1965年にはテンサイ全栽培面積の21%、1970年には75%、1975年には80%、1980年には90%を越え、現在98%に至っており、移植の導入により従来の栽培適地が拡大したことによって栽培面積も増加し、1981年以降約70,000haを維持している（第1-2図）。移植率の増加とともに根重が大きく上昇し、安定してきたことは移植栽培の導入普及後の実績から明らかであり、施肥量の増加も移植テンサイの増収を支えてきた大きな要因である（第1-3図）。

第1-1表 主要国のテンサイ栽培面積と収量の過去30年間の推移\*

国名	栽培面積 ( $\times 10^3$ ha)			収量 ( $\text{t ha}^{-1}$ )		
	1958-60	1988-90	増加率%	1958-60	1988-90	増加率%
旧ソ連邦	2,765	3,327	120	18.9	26.7	141
米 国	371	536	144	39.6	43.7	110
フランス	363	446	123	33.3	64.5	194
ポーランド	378	425	112	21.7	35.4	163
旧西ドイツ	288	389	135	40.4	53.9	133
旧東ドイツ	232	208	90	26.7	27.1	101
イギリス	176	197	112	35.6	41.0	115
オランダ	89	124	139	44.3	61.9	140
ベルギー	64	109	170	38.2	55.8	146
デンマーク	60	66	110	35.0	50.3	144
日 本	41	72	176	24.2	52.6	217

\* FAO Production Year Book (1960, 1990)



第1-1図 世界の主要テンサイ栽培地の気温と降水量

(1996年版理科年表：図中の数字は月を示す)

本論文は、紙筒移植の導入期から普及期にかけて実施した(1)紙筒移植テンサイの生育期間に関する試験、(2)早期播種健苗育成試験、(3)肥培技術に関する試験、および(4)1986年から導入された糖分取引を前提とする高品質・高糖集積量テンサイ栽培に関する試験の結果を基に、現在の紙筒移植栽培管理法の問題点とその改善方法について取り纏めたものである。

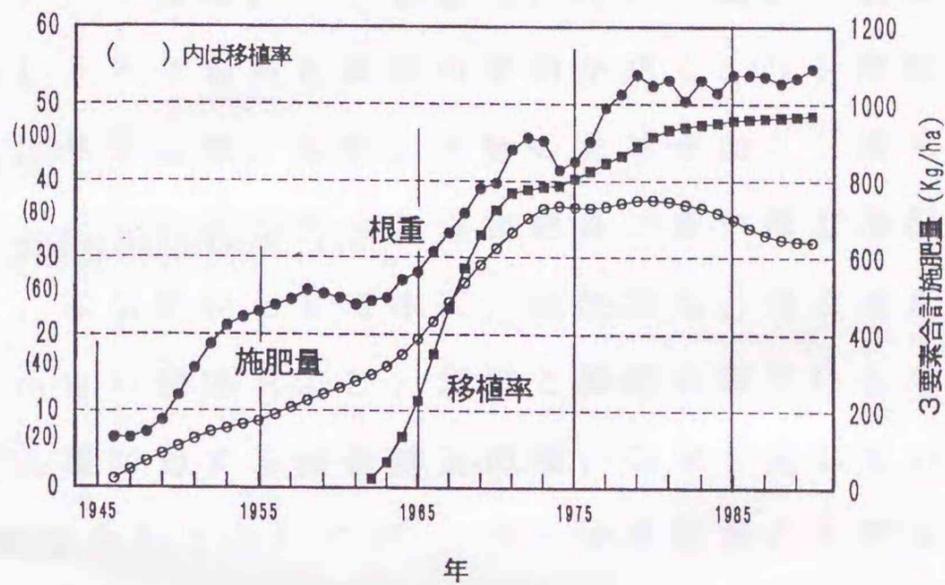
現在、移植栽培の安定した生産性は十分評価されているが、国産農産物の内外価格差の是正が問われており、移植テンサイも例外ではない。加えて農業者の減少に伴う一戸当たりのテンサイ栽培面積の拡大と農業者の高齢化が確実に進んでいることから、近年、移植の省力化と直播栽培に関する種々の試験が北海道の農業試験場、糖業の試験機関等で継続して行われている。

一方、Cavazza<sup>6)</sup>の報告により、海外のテンサイ栽培実態をみると、世界のテンサイ栽培面積の約20%で灌漑が行われている。アメリカ合衆国では約50万haの栽培面積の内の93%で、トルコでは16万haの84%で、スペインでは16万haの60%でそれぞれ灌漑が行なわれており、水資源環境の問題も含め、多くの経費をかけてテンサイ糖を生産している。すなわち、それぞれの国の持つ、不利な自然条件を人為的に補っている。

北海道の場合には、元来播種期と収穫期における低温が生育の制限因子となり、テンサイの生育期間は5月上旬から10月下旬までの約180日間である。中央ヨーロッパでは3月上旬から播種が可能で、9月には登熟期に入り1月まで生育が可能なこと比べると生育期間が短い。紙筒移植では、テンサイをビニールハウス内で育苗することにより生育期間を40日内外延長し、確実に増収を図ることができる。これは北海道の気象条件において極めて合理的な安定生産の手段であり、98%に達した移植率がこのことを示している。



第1-2図 北海道のテンサイ栽培面積と移植面積の推移



第1-3図 テンサイの施肥量、移植率と根重の推移

テンサイの紙筒移植栽培の直播栽培に対する利点としては、(1)生育期間を延長することができること、(2)本畑での作条施肥に濃度障害の問題がないことから、移植と同時に作条施用ができ、施肥効率が低いこと、(3)春作業の分散と作業時期の自由度が高いこと、(4)移植苗は霜害、風害、病虫害に対する障害耐性が高いこと、(5)移植後の茎葉の展開が早いことから雑草の生育を抑制すること、(6)雑草の生育に先だって苗がしっかり圃場に根を張ることから株間除草機の利用が可能であること、(7)テンサイの根形が丸くなることにより収穫ロスが少ないことなどを挙げる事ができる。これらの利点をさらに改善して次世代の省力、低コストテンサイ栽培に継承していくことが重要である。

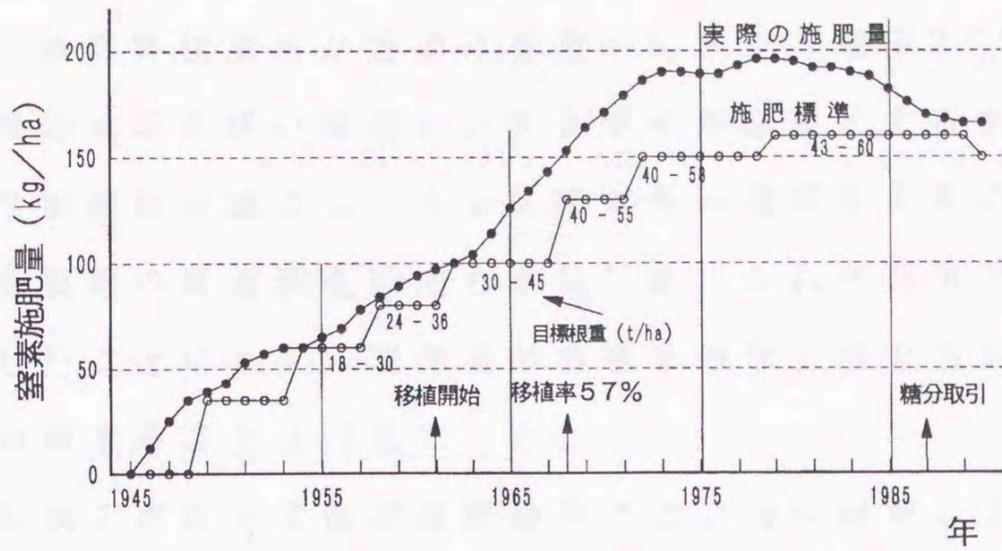
以下に、紙筒移植栽培の開発と普及までの北海道におけるテンサイの肥培管理法の変遷について概観し、現在における肥培技術と、その問題点を挙げる。

1920年に旧北海道製糖株式会社帯広工場においてテンサイ製糖事業が開始されて以来、北海道十勝地方では今日までテンサイ糖の製造が継続して行なわれている。テンサイ農家に対する本格的な肥培技術の普及もその製糖開始時期から開始されている。

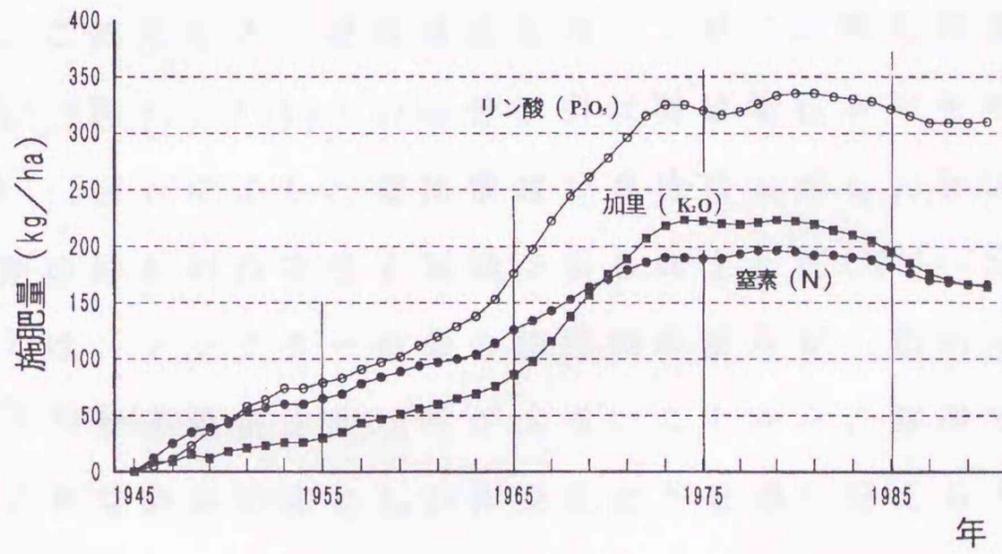
天野<sup>1)</sup>は1922年にテンサイに対する窒素肥料として人糞尿、厩肥、ダイズ粕、ナタネ油粕、ニシン粕それにチリ硝石と硫酸アンモニアの肥効を論じ、チリ硝石と厩肥の肥効が高く、リン酸肥料として過リン酸石灰、リン鉱類、骨粉、米糠の肥効を論じ、過リン酸石灰の肥効が高く、とくに火山性土では施肥量が多いほど増収が著しいと記している。加里肥料として木灰、硫酸加里、塩化加里の肥効を論じ、加里の小さい肥効および、厩肥と緑肥の重要性を論じている。とくに酸性土壌に対する酸性矯正の高い効果を記しているが、これは100年を経た今日においても、テンサイ収量の主要な制限要因となっている。この時代の施肥の基本は窒素と加里肥料は有機質肥料を中心に施用し、化学肥料としてはチリ硝石と過リン酸石灰が金肥として位置づけられている。

石塚<sup>2)</sup>は1955年から1958年に北海道内で広範囲に行った現地施肥試験の結果から、チリ硝石の肥効に硝酸アンモニウム、硫酸ナトリウムが替わり得ることを明らかにした。それ以降自家混合が不要で、必要成分を含むテンサイ用化成肥料が広く使われた。さらに石塚<sup>2)</sup>はヨーロッパの肥培管理を紹介し苦土肥料、ナトリウム、微量元素肥料の必要性を論じている。

1957年には、北海道農務部<sup>16)</sup>により、テンサイも含めた10作物の3要素の北海道地帯別施肥標準が新設され、以後テンサイ標準施肥の普及は増収に直接寄与してきた(第1-4図、第1-5図)。



第1-4図 テンサイの窒素施肥標準と施肥実態の推移



第1-5図 テンサイの3要素施肥量(kg/ha)の推移



第1-6図 テンサイの糖集積量と製糖歩留の推移

この時期までは直播栽培を前提とした肥培管理技術であったが、1961年から紙筒移植栽培が急速に普及してきた。増田<sup>59,60,62)</sup>は1969年に肥料要素欠乏症状の確認と、テンサイが必要とする養分を含む、完全肥料の重要性を論じた。さらに紙筒育苗期間中の苗の生育を最良にする各要素の最適濃度を明らかにした。これを育苗専用肥料として具現したことにより、北海道の多種多様な土壌を育苗用土壌として広く利用することを可能にした。

1967年に改定された北海道施肥標準では、目標根重の引き上げによる3要素の増肥に加え、移植栽培の場合には窒素と加里を20%から30%多肥すること、合わせて酸性矯正のpH目標値として6.5が設定された。これらにより紙筒移植栽培テンサイの糖集積量が大きく向上し(第1-6図)、1986年の糖分取引以降は糖含有率を考慮した窒素施肥(第1-5図)により、糖集積量が高位に安定し、テンサイ菜根からの砂糖の回収割合を示す製糖歩留も向上した(第1-6図)。施肥法については、トラクター直装の施肥機の使用が一般的になった。移植ではテンサイ稚苗の耐塩性が大きいことから、直播では高塩濃度によって発芽障害が生じ易い作条施肥が普通に行えるようになり、移植と同時に全量施肥するのが標準的な施肥法となっている。現在では分施や追肥は極めて少なく、ヨーロッパの直播栽培で一般的である全面全層への秋施肥、出芽後の分施の施肥方法とは大きく異なっている。

現在のテンサイの肥培管理の問題点としては、施肥に対する過度の期待から、リン酸、窒素が過剰に施肥されている地域があること、バレイショはそうか病、テンサイはそう根病の土壌病害回避のために、テンサイにとっては低過ぎるpH 5.5以下が、バレイショ生産地帯における土壌pH維持の許容値になりつつあり、土壌pHがテンサイ収量の制限因子となってきたこと、リン酸アンモニア系や尿素系高度化成肥料の作条施肥が行われており、このアンモニア系窒素

肥料の硝酸化成に伴い生育前期の土壌pHが大きく低下し、畑土壌pHが5.5以下の場合にはテンサイの生育遅延を起こす場合があること、保水性が高く窒素含有率が相対的に高い十勝地方の土壌に生育するテンサイは、生育後半に茎葉が過繁茂になり易く、TR比が高く根部の割合が低くなること、農業機械の作業性を優先させるために、ヨーロッパで一般的な45cmから50cmの畦幅に対し、66cm主体の広い畦幅となっており、目標となっているha当たりの栽植密度70,000本の場合における狭い株間は、葉面積の拡大が早い紙筒移植栽培では、個体間の相互遮蔽が長期間続き易く、増収を抑制する場合があることなどが挙げられる。

本論文は、約20年にわたり実施してきた紙筒移植の栽培管理に関する試験研究をもとに、上述の諸課題と対策について取り纏め、テンサイ紙筒移植栽培の特徴を生かした合理的栽培管理法を明らかにすることにより、一層の生産性向上に資することを目的としたものである。

## 第 2 章 紙筒移植栽培における早期播種時期の限界と 生育期間が糖集積量に及ぼす影響

紙筒移植栽培普及の当初である1961年から1965年にかけては、テンサイ種子の紙筒播種は4月上旬であった。水稻の育苗に習い木枠育苗や、ビニールフィルムによるトンネル育苗が中心であり、3月中の播種は低温障害の危険も高く一般的ではなかった。1965年代に入り移植栽培面積の急増とともに、育苗保温管理が容易で、多数の紙筒により揃った健苗を育て易い大型のビニールハウス育苗が導入され、3月中下旬にさかのぼる紙筒播種が増えてきた。そこで、無加温のビニールハウス育苗を前提に、増収に効果のある紙筒播種の早期の限界を明らかにすることを目的として栽培試験を行った。同時に実際のテンサイ農家の播種および移植時期と根重、糖含有率、糖集積量との関係を調査した。

さらに、生育期間を制限する要因の一つである収穫時期と根重、糖含有率、糖集積量の関係を調査し、紙筒移植栽培における生育期間の長短がテンサイ諸形質に及ぼす影響を検討した。

### 第 1 節 播種時期の影響

紙筒への播種時期の早晩が、テンサイ苗の大きさ、移植後の生育、根重と糖集積量に及ぼす影響を検討した。

#### 実験方法

1977年と1978年の2ヶ年間、3月1日から7日間隔で4月12日まで、7回の播種時期処理区を設け、帯広市上清川町の日本甜菜製糖株式会社清川農場（以下清川農場と記す）で育苗・栽培試験を行った。3月1日、8日、15日の播種処理については、各時期に設けた

別個のビニールハウスで育苗しそれぞれ標準の温度管理をした。温度は自然温のみで、適宜フィルムを多重被覆して保温した。3月15日以前の播種区は4月15日以降、ビニールハウスのフィルムの開閉により低温条件をつくり苗徒長抑制処理を行った。品種は「カーベメガモノ」で、育苗はビート育苗複合肥料1号を1ha分に相当する紙筒60冊(84,000本)当たり50kgの割合で火山性土に混合し紙筒に充填した。紙筒1冊は1400本の紙筒よりなり、これに播種を行った。移植日は1977年は4月27日、1978年は5月3日である。本畑試験は両年とも1区5畦、畦幅60cm、畦長5.4mの乱塊法6反復で実施した。収穫は1977年、1978年とも10月25日に内側中央の3畦、畦長5mについて掘り取り、常法で調査した。

苗の生育調査は1区紙筒50本について、本畑における生育調査は1区20本の4反復について行った。

## 結果

### (1) 移植時の苗の生育と要素吸収量

紙筒に対する播種時期が早いほど葉長は長く葉数は多かった。葉部と根部の新鮮重は、3月1日の根重を除いて、播種時期が早いほど、ともに高かった(第2-1表)。1978年に行った苗の3要素含有率と吸収量はいずれも播種時期が早いほど高く、多かった(第2-2表)。

第2-1表 播種時期と苗齢が苗質に及ぼす影響\*

播種 月/日	苗齢 (日)	葉長 (cm)	葉数 (枚)	新鮮重 g/100本	
				葉部	根部
3/ 1	60日	4.9	5.3	83.9	14.7
3/ 8	53日	5.5	5.0	87.7	11.5
3/15	46日	4.0	4.4	67.3	8.6
3/22	39日	3.0	3.8	40.8	6.3
3/29	32日	2.3	2.4	31.4	3.9
4/ 5	25日	1.3	2.0	24.6	2.7
4/12	18日	0.0	0.0	10.3	1.9

\*1977と1978年の平均値を示す。

第2-2表 播種時期の異なる苗の要素含有率と吸収量\*

播種 月/日	苗齡 (日)	N				P		K	
		葉部		根部		葉部		葉部	
		含有率 %	吸収量 g	含有率 %	吸収量 g	含有率 %	吸収量 g	含有率 %	吸収量 g
3/ 1	60日	3.30	0.31	3.78	0.065	0.91	0.09	4.68	0.45
3/ 8	53日	3.66	0.18	3.91	0.039	0.91	0.05	4.85	0.24
3/15	46日	3.53	0.29	4.07	0.055	0.89	0.07	4.55	0.37
3/22	39日	3.57	0.14	3.42	0.031	1.03	0.04	4.85	0.18
3/29	32日	4.69	0.14	3.52	0.016	0.89	0.03	5.08	0.16
4/ 5	25日	3.48	0.09	3.73	0.015	1.34	0.03	5.41	0.14
4/12	18日	5.68	0.06	3.07	0.010	1.61	0.02	3.49	0.04

\*吸収量 g/100本

## (2)本畑における生育と要素吸収量の推移

1977年に直播を含め4つの生育期間処理を設け、抜き取り調査を行った結果、3月1日と15日播種区の根重には、10回の全調査のいずれにおいても差はなかったが、3月29日播種の根重は、ほとんどの調査で3月1日、15日播種区より低く推移した。直播の茎葉重は8月30日には移植の90%に達したが、根重は10月15日まで低く推移した(第2-3表)。要素吸収量  $\text{kg ha}^{-1}$  については、7月15日以降、移植の3播種処理間の差は各要素ともほとんどなかったが、直播は8月17日まで明らかに要素吸収量が少なく推移した(第2-4表)。

第2-3表 播種時期が生育の推移に及ぼす影響(1)

項目	栽培播種 法 月/日	抜取調査月/日									
		6/1		6/15		6/30		7/15		7/30	
		%		%		%		%		%	
葉長 cm	移植 3/1	12.7	121	25.0	121	40.5	107	54.7	102	57.8	96
	移植 3/15	11.9	113	23.4	114	40.3	107	52.8	99	58.7	97
	移植 3/29	10.5	(100)	20.6	(100)	37.7	(100)	53.6	(100)	60.3	(100)
	直播 4/27	6.2	59	14.9	72	31.8	84	51.9	97	61.5	102
葉数 枚	移植 3/1	10.6	122	14.4	113	18.7	104	23.5	106	26.8	106
	移植 3/15	10.9	125	14.0	109	18.3	102	22.7	102	25.7	102
	移植 3/29	8.7	(100)	12.8	(100)	17.9	(100)	22.2	(100)	25.2	(100)
	直播 4/27	3.5	40	9.4	73	15.4	86	18.3	82	23.8	94
根重 g/本	移植 3/1	2.1	193	18	202	92	157	196	121	343	100
	移植 3/15	2.2	199	19	211	93	159	193	119	354	104
	移植 3/29	1.1	(100)	9	(100)	58	(100)	162	(100)	342	(100)
	直播 4/27	0.2	14	1	13	17	30	80	49	241	71
糖含有率 %	移植 3/1	3.88	115	7.20	113	7.87	110	9.26	106	10.63	107
	移植 3/15	3.89	116	7.19	113	7.87	110	9.32	107	10.117	103
	移植 3/29	3.36	(100)	6.36	(100)	7.15	(100)	8.70	(100)	9.98	(100)
	直播 4/27	-	-	-	-	5.24	73	7.34	84	9.69	97
茎葉重 g/本	移植 3/1	13.5	167	86	164	330	130	595	110	778	101
	移植 3/15	13.3	164	84	161	325	128	561	103	844	109
	移植 3/29	8.1	(100)	53	(100)	253	(100)	543	(100)	773	(100)
	直播 4/27	1.3	16	16	30	148	59	395	73	702	91
T/R	移植 3/1	6.43	87	4.78	81	3.59	82	3.04	91	2.27	100
	移植 3/15	6.05	82	4.42	75	3.49	80	2.91	87	2.38	105
	移植 3/29	7.36	(100)	5.89	(100)	4.36	(100)	3.35	(100)	2.26	(100)
	直播 4/27	6.50	88	13.33	226	8.71	200	4.94	147	2.91	129

第2-3表 播種時期が生育の推移に及ぼす影響(2)

項目	栽培播種 法 月/日	抜取調査月/日									
		8/15		8/30		9/15		9/30		10/15	
		%		%		%		%		%	
葉長 cm	移植 3/1	66.8	99	65.6	98	64.9	98	67.9	105	64.1	98
	移植 3/15	65.6	97	65.8	98	66.7	101	65.6	102	65.5	100
	移植 3/29	67.8	(100)	67.1	(100)	66.1	(100)	64.4	(100)	65.3	(100)
	直播 4/27	66.7	98	65.5	98	67.5	102	67.4	105	66.4	102
葉数 枚	移植 3/1	30.2	103	30.0	100	32.8	96	36.6	105	34.0	92
	移植 3/15	29.8	102	31.8	106	35.2	103	37.4	108	35.6	96
	移植 3/29	29.3	(100)	30.1	(100)	34.1	(100)	34.7	(100)	37.0	(100)
	直播 4/27	29.0	99	26.8	89	34.7	102	34.2	99	33.4	90
根重 g/本	移植 3/1	545	112	657	104	738	104	796	99	824	110
	移植 3/15	584	120	647	102	722	102	837	104	956	127
	移植 3/29	489	(100)	632	(100)	710	(100)	808	(100)	751	(100)
	直播 4/27	382	78	470	74	570	80	662	82	673	90
糖含有率 %	移植 3/1	10.93	103	12.03	100	12.48	104	13.65	103	15.10	100
	移植 3/15	10.77	101	12.20	101	12.21	102	13.44	101	15.06	100
	移植 3/29	10.66	(100)	12.03	(100)	12.00	(100)	13.27	(100)	15.13	(100)
	直播 4/27	10.36	97	11.68	97	12.00	100	13.33	100	14.88	98
茎葉重 g/本	移植 3/1	993	101	1019	99	954	100	1009	112	885	99
	移植 3/15	1113	113	947	92	955	100	1010	112	982	110
	移植 3/29	983	(100)	1032	(100)	956	(100)	904	(100)	892	(100)
	直播 4/27	895	91	893	87	942	99	913	101	853	101
T/R	移植 3/1	1.82	91	1.55	95	1.29	96	1.27	113	1.07	90
	移植 3/15	1.91	95	1.46	90	1.32	98	1.21	108	1.03	87
	移植 3/29	2.01	(100)	1.63	(100)	1.35	(100)	1.12	(100)	1.19	(100)
	直播 4/27	2.34	116	1.90	117	1.65	122	1.38	123	1.27	107

第2-4表 播種時期が要素吸収量の推移に及ぼす影響 (1)

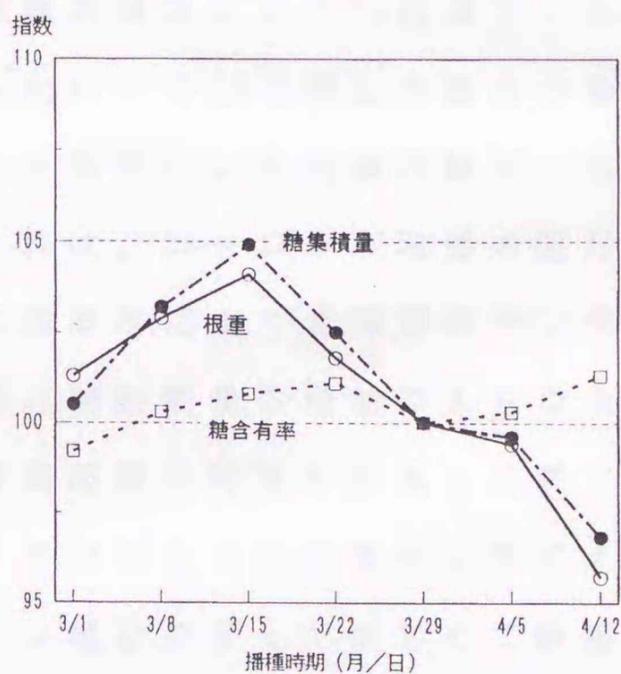
要素	栽培 法	播種 月日	抜取調査月/日									
			6/1		6/15		7/3		7/15		8/3	
			kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
N	移植	3/1	3.81	165	31.5	165	86.6	115	114.2	114	219.6	111
	移植	3/15	4.01	174	31.6	165	86.2	114	105.5	105	218.6	110
	移植	3/29	2.31	(100)	19.1	(100)	75.3	(100)	100.2	(100)	198.0	(100)
	直播	4/27	0.07	3	5.4	28	39.0	52	64.0	64	187.4	95
P	移植	3/1	0.33	157	3.2	168	9.6	152	10.8	104	20.5	125
	移植	3/15	0.33	157	3.1	163	9.3	148	11.4	110	19.9	121
	移植	3/29	0.21	(100)	1.9	(100)	6.3	(100)	10.4	(100)	16.4	(100)
	直播	4/27	0.03	14	0.5	26	3.6	57	6.1	59	16.0	98
K	移植	3/1	3.84	166	32.6	165	102.2	131	138.9	111	265.0	111
	移植	3/15	4.07	175	31.7	159	97.9	126	128.7	103	287.1	120
	移植	3/29	2.32	(100)	19.9	(100)	78.0	(100)	124.8	(100)	239.5	(100)
	直播	4/27	0.45	19	6.1	31	43.3	56	75.8	61	233.5	97
N a	移植	3/1	2.17	179	16.9	178	46.6	130	42.6	121	153.7	93
	移植	3/15	2.02	167	17.0	179	47.2	131	39.0	111	168.5	102
	移植	3/29	1.21	(100)	9.5	(100)	35.9	(100)	35.1	(100)	165.2	(100)
	直播	4/27	0.10	8	2.5	26	19.1	53	25.8	74	142.1	86
C a	移植	3/1	0.78	177	6.9	153	17.7	101	21.9	128	62.2	106
	移植	3/15	0.83	189	6.9	153	18.2	104	20.0	117	74.7	127
	移植	3/29	0.44	(100)	4.5	(100)	17.5	(100)	17.1	(100)	58.6	(100)
	直播	4/27	0.05	11	1.1	24	7.9	45	11.1	65	49.1	84
M g	移植	3/1	0.57	154	4.8	185	10.7	110	13.2	125	32.4	110
	移植	3/15	0.57	154	4.4	169	10.9	112	11.7	110	34.9	119
	移植	3/29	0.37	(100)	2.6	(100)	9.7	(100)	10.6	(100)	29.4	(100)
	直播	4/27	0.04	11	0.9	35	5.1	53	7.5	71	27.8	95

第2-4表 播種時期が要素吸収量の推移に及ぼす影響 (2)

要素	栽培 法	播種 月日	抜取調査月/日									
			8/17		8/29		9/13		9/29		10/14	
			kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
N	移植	3/1	253.2	101	280.0	89	289.3	96	330.2	102	301.1	100
	移植	3/15	273.8	109	250.9	79	288.1	95	348.3	107	346.3	115
	移植	3/29	251.1	(100)	316.3	(100)	301.8	(100)	325.0	(100)	301.0	(100)
	直播	4/27	214.8	86	239.9	76	275.1	91	297.0	91	304.6	101
P	移植	3/1	25.4	108	30.8	133	27.9	104	34.1	110	36.3	132
	移植	3/15	28.0	119	26.3	114	27.6	103	33.1	107	38.9	142
	移植	3/29	23.6	(100)	23.1	(100)	26.9	(100)	30.9	(100)	27.4	(100)
	直播	4/27	20.3	86	22.9	99	23.8	88	29.2	94	31.1	114
K	移植	3/1	320.6	96	383.0	96	416.6	100	477.9	111	475.2	102
	移植	3/15	375.0	112	363.2	91	405.7	97	475.3	111	518.9	112
	移植	3/29	333.4	(100)	400.5	(100)	417.4	(100)	429.0	(100)	461.1	(100)
	直播	4/27	277.4	83	321.2	80	377.4	90	408.6	95	413.3	89
N a	移植	3/1	163.6	92	166.0	94	152.4	97	190.4	95	196.8	107
	移植	3/15	180.5	101	154.4	88	165.4	105	201.4	101	213.9	116
	移植	3/29	178.4	(100)	176.0	(100)	157.8	(100)	199.7	(100)	184.4	(100)
	直播	4/27	165.8	93	143.6	82	164.0	104	179.2	90	170.3	92
C a	移植	3/1	71.7	95	82.1	95	72.4	95	97.9	104	81.2	91
	移植	3/15	76.2	101	75.6	88	79.5	104	96.2	102	91.5	102
	移植	3/29	75.1	(100)	86.2	(100)	76.5	(100)	94.5	(100)	89.5	(100)
	直播	4/27	56.1	75	68.2	79	67.5	88	76.3	81	89.2	100
M g	移植	3/1	35.0	104	41.4	99	36.4	94	51.6	113	45.2	103
	移植	3/15	37.5	111	45.3	108	42.6	110	52.4	115	52.7	121
	移植	3/29	33.7	(100)	42.0	(100)	38.6	(100)	45.6	(100)	43.7	(100)
	直播	4/27	28.1	83	33.8	80	35.2	91	40.6	89	43.8	100

### (3) 生育期間が根重と糖集積量に及ぼす影響

紙筒に対する播種時期と根重，糖含有率，糖集積量の関係を2年の平均値で示した(第2-1図)。根重は3月15日播種区で最大であり，それより早くても，遅くても減少した。糖含有率は播種時期の早晩の影響がなく，したがって播種時期の糖集積量への影響は根重の場合と同じであった。各年毎に，3月29日播種区の根重にたいする相対値(%)を目的変数，播種月日を従属変数として2次回帰曲線を求め，最大の根重となる播種月日を求めた結果，1977年は3月11日，1978年は3月18日であった。



3月29日播種を100とする指数で表す

第2-1図 紙筒に対する播種時期が収穫期の根重、糖含有率糖集積量に及ぼす影響

### 考察

紙筒への播種時期が早いほど，苗の生育と移植後の生育は良好であった。しかし1977年および1978年とも3月1日と8日播種区の収穫期の根重はやや低下し，3月15日播種区の糖集積量が最大であった。早期播種の効果が低下した要因としては，3月1日と8日播種区の苗の主根が相対的に短かったことが挙げられる。これらの苗は，

育苗中に低温障害を受けることはなかったが、紙筒の置床土壌の温度が低いために、紙筒内の主根の伸長が緩慢で、側根の伸長が早く生じ、収穫期の菜根に分岐根が観察された。これが早期播種による増収効果を低下させた要因のひとつであると考えられた。

主根の保護と側根の伸長抑制は、テンサイ菜根の形態を紡錘形に変える紙筒発明の根幹となる機作<sup>58)</sup>であるが、苗徒長抑制のために、長期間低温育苗をした場合、紙筒中の根に障害がなくても主根と側根の伸長の均衡が変り、菜根の軽度の分岐が生じ、根重に影響したものと考えられる。

英国で行われた直播テンサイ栽培試験<sup>78)</sup>では、抽苔がなく高い糖集積量が得られる播種の限界は3月25日頃で、北ドイツの直播テンサイ栽培試験<sup>56)</sup>でも同じ3月25日頃との報告があり、北海道の直播の播種時期より約1ヶ月早い。本実験の結果、紙筒播種の適期は3月中旬であった。これは、ヨーロッパ北部の直播の一般的な播種時期より早く、紙筒移植栽培により北海道のテンサイの生育期間を延長することは、根重と糖集積量の増加に大きな貢献をしている。

移植テンサイの窒素吸収の特徴を直播と比較すると、移植テンサイの窒素吸収量は7月中旬までは直播テンサイより多く、直播テンサイの窒素吸収量は収穫期に至ってはじめて移植テンサイと同水準となっっている。すなわち、移植テンサイによる施肥窒素と土壌窒素の速い吸収が、移植テンサイが高い糖集積量を維持できる要因の一つとなっっている。

## 第2節 紙筒苗の苗齢と育苗後期の低温処理が本畑における耐霜性と糖集積量に及ぼす影響

本畑における生育期間をできるだけ長くするため、紙筒苗は降霜期の4月中下旬に移植する必要がある。播種時期と移植時期を変え

て苗齡の異なる苗を育成し，育苗後期に低温処理を行った帯広と，しなかった美幌を比較し，移植後の霜害による枯死率と糖集積量に及ぼす低温処理の影響を検討した。

#### 実験方法

1972年に帯広市川西町と美幌町野崎中央の2ヶ所で，品種「カーベポリ」を用い，播種日と苗齡として3月10日播種の苗齡35日，40日と50日，3月15日播種の苗齡30日，35日，40日と45日，3月20日播種の苗齡30日と35日，3月25日播種の苗齡30日と35日，4月1日播種の苗齡20日，25日，30日と35日の5播種時期，7苗齡を設定し，各々所定の苗齡に達した4月15日，20日，25日，5月1日，5日の5時期に本畑に移植した。霜害による枯死率は目視で行った。両畑とも秋起しを行い，早期移植のために融雪促進剤を全面に散布した結果，完全融雪は帯広では4月13日，美幌では4月9日であった。施肥量は帯広では181Nkg，280P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>kg，200K<sub>2</sub>Okg/ha<sup>-1</sup>，美幌では194Nkg，280P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>kg，140K<sub>2</sub>Okg/ha<sup>-1</sup>で，移植当日に作条施肥をした。圃場試験は1区6畦，畦幅60cm、畦長6.0mの乱塊法3反復で実施した。帯広では10月4日に，美幌では10月3日に収穫した。両試験地とも育苗ハウス内の紙筒苗上40cmと移植畑に最高最低温度計を設置し，気温を測定した。

育苗管理方法は下記の通りである。

帯広では，耐霜性の強化のため3月15日以降の播種日苗は所定日にハウス外に移した以降，被覆なしで育苗を行った。

(1) 3月10日播種区はビニールハウス内で、ビニールトンネル処理(3/10~3/19)と保温マット処理(3/10~3/12)を行い，4月8日よりハウス外に出し，夜間のみトンネル育苗を行った。

(2) 3月15日播種区はハウス内でトンネル処理(3/15~3/19)を行い，4月8日よりハウス外に出し被覆なしで育苗を行った。

(3) 3月20日播種区はハウス育苗を行い、4月12日よりハウス外に出し、被覆なしで育苗を行った。

(4) 3月25日播種区はハウス育苗し、4月15日よりハウス外に出し被覆なしで育苗を行った。

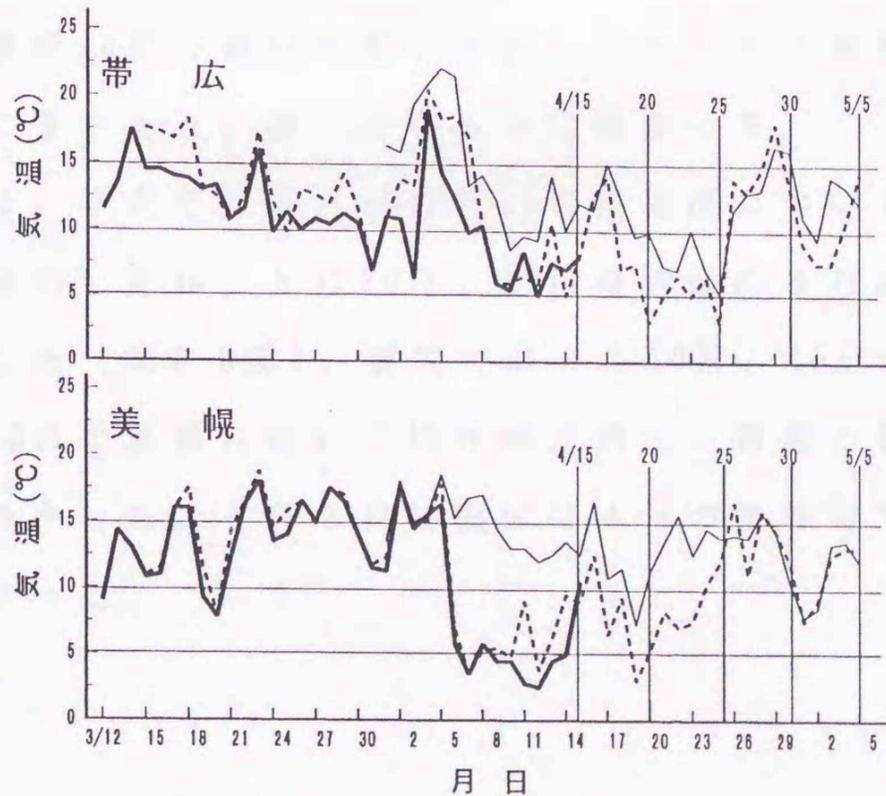
(5) 4月1日播種区はハウス育苗し、4月20日よりハウス外に出し被覆なしで育苗を行った。

美幌では、一般農家と同じビニールハウス内育苗のみを行い、耐霜性処理を図る移植前のハウス外育苗は行わなかった。

(1) 3月10日、15日と20日播種区はハウスで育苗し、3月23日まで保温マット処理（3/24～4/1は夜間のみ被覆）を行った。

(2) 3月25日播種区はハウス育苗し、4月5日まで保温マット処理（4/6～4/9は夜間のみ被覆）を行った。

(3) 4月1日播種区はハウス育苗し、4月5日まで保温マット処理（4/6～4/10は夜間のみ被覆）を行った。



3/10播種 3/15播種 4/1播種系列

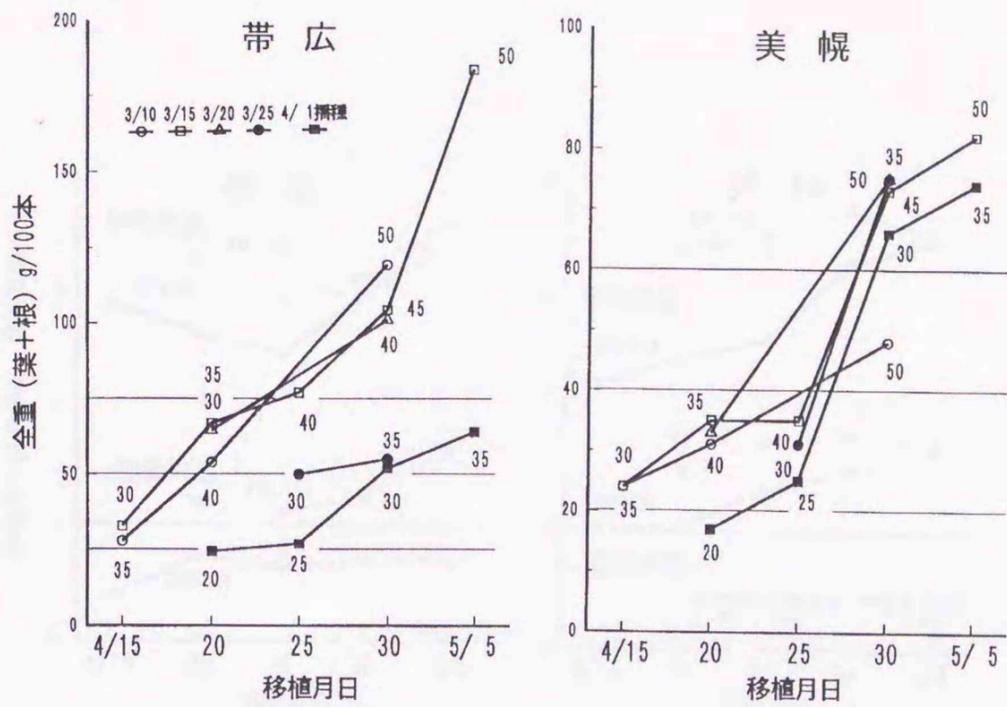
第2-2図 育苗期間の床内(苗上40cm)平均気温の推移

## 結果

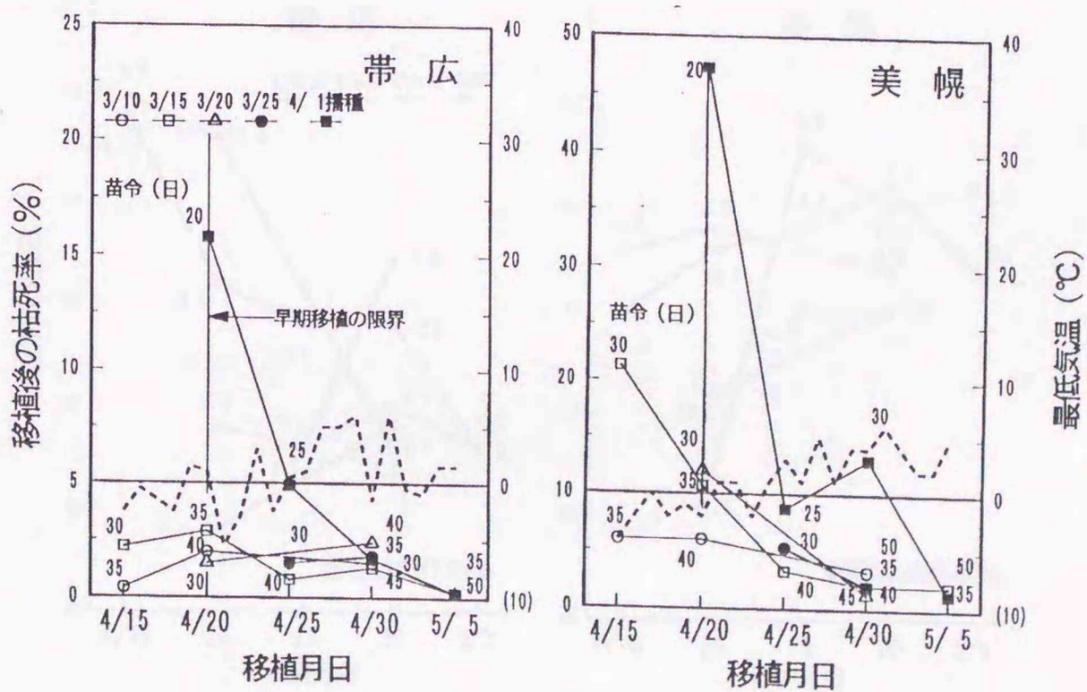
育苗期間中の苗上40cmの平均気温の推移を、帯広、美幌別に3月10日、15日、4月1日播種区について示した(第2-2図)。帯広、美幌ともに育苗期間中3℃から18℃の気温にほぼ経過し、育苗期間の平均気温は播種日が遅いほど高かった。4月20日頃からは、外気温が高くなっていくことから、苗上の気温も上昇傾向であった。

紙筒苗の移植時の全重(葉+根)は(第2-3図)、帯広、美幌ともに苗齢が長くなるほど増加した。低温処理をしなかった美幌では、播種時期が遅くても全重の絶対値は低くなかった。移植後の霜害による枯死率をみると(第2-4図)帯広、美幌ともに4月1日播種区の4月20日移植区で高く、その後の移植日でも高かった。帯広の3月10日と15日播種、美幌の3月10日播種の枯死率は4月15日、20日の両移植日ともに少なかった。畑の最低気温(点線)の推移をみると、この時期にマイナスからプラスへ推移しており、4月20日ころが移植の開始時期に当たっている。美幌の枯死率が帯広より高かった要因を検討するため、枯死率の差が大きかった3月15日と4月1日について、移植前10日の最低気温を比較したところ(第2-5図)、最低気温の推移に差があり、帯広は明らかに低かった。

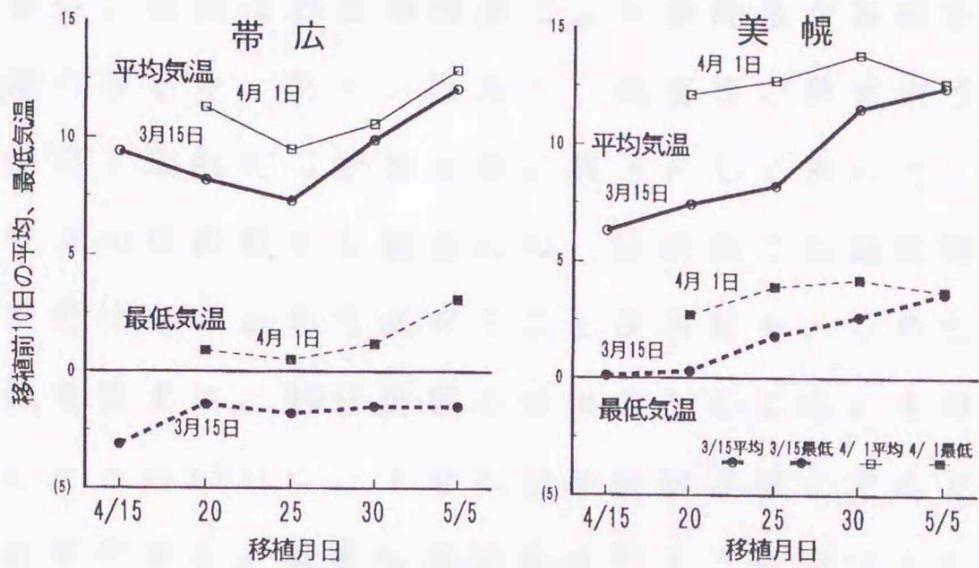
糖集積量は、帯広では3月10日と15日播種区については、移植日が早いほど増加したが、3月20日、25日播種区の4月20日と25日移植区は減少した(第2-6図)。美幌では3月10日、15日の播種区でも4月15日、20日の移植において枯死率が高く、帯広と異なり糖集積量は増加しなかった。4月1日播種区は4月の移植日ではいずれも枯死率が高かった。



第2-3 紙筒苗の苗齢が移植時の苗全新鮮重に及ぼす影響

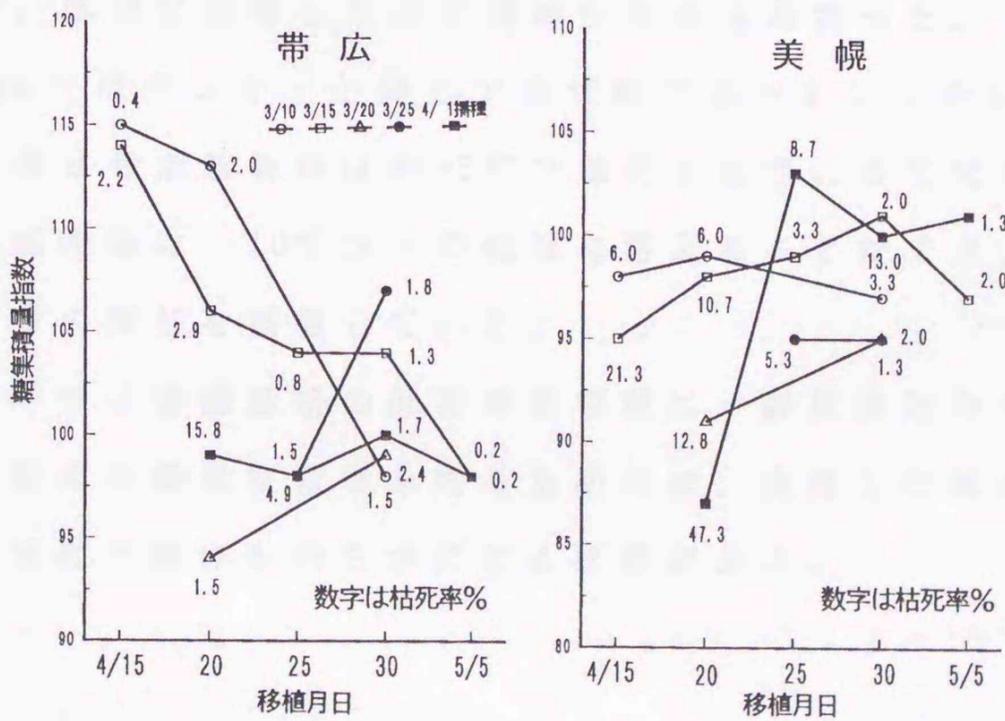


第2-4 紙筒苗の苗齢が移植後の枯死率へ及ぼす影響



第2-5 播種月日別の移植前10日の

平均気温と最低気温の推移



第2-6 紙筒苗の苗齢が糖集積量へ及ぼす影響

## 考察

十勝地方の移植の開始は通常4月20日頃である。この時期に最低気温がマイナスからプラスに推移しており、移植後も最低気温がマイナスになることが多い。35日より短い苗齢で、4月15日や20日に移植した場合、数回にわたる降霜により紙筒苗が凍結脱水し、一部の苗は枯死に至るか、あるいは弱り、風害等の障害耐性が低下し、本試験の結果、最終的に糖集積量の低下として表れた。増収が確実な4月の中下旬に移植する場合には、移植前に低温処理することにより霜害を受けない苗を育成することが重要で、このためには40日程度の苗齢を要する。40日苗齢の確保のためには、4月20日を移植目標とすると3月10日に、4月25日を移植目標とすると3月15日に播種する必要がある。美幌における4月1日播種の4月30日移植区の30日苗齢の苗全重は35日～50日苗齢の苗と同じ水準であったが、枯死率は14%と高く、苗齢より移植前の低温処理が耐霜性に有効であることを示している。

十勝農業試験場てん菜科<sup>25)</sup>は新育苗技術によるてん菜の生産性向上試験の中で、健苗育成処理苗を冷蔵庫を使い-9℃まで低温処理をした結果、低温で処理したほど苗の生存率は高かった。

Kazuoka<sup>44)</sup>はテンサイと同じアカザ科のハウレンソウについて、20℃で生育させた植物体は約-5℃で凍死するが、5℃で8日間低温処理した植物体は-10℃以下の低温に耐えることができ、低温誘導タンパク質の関与を指摘している。

既にテンサイ移植栽培の低温育苗管理は一般技術となっているが、今後、育苗の自動温度管理を図るためには、温度との関連でテンサイの霜害耐性の機作を明らかにする必要がある。

### 第3節 根重と糖集積量に及ぼす播種時期と移植時期の影響 に関する現地調査

移植栽培をしている一般のテンサイ農家における、播種時期および移植時期と根重、糖含有率、糖集積量との関係を調査した。

#### 調査方法

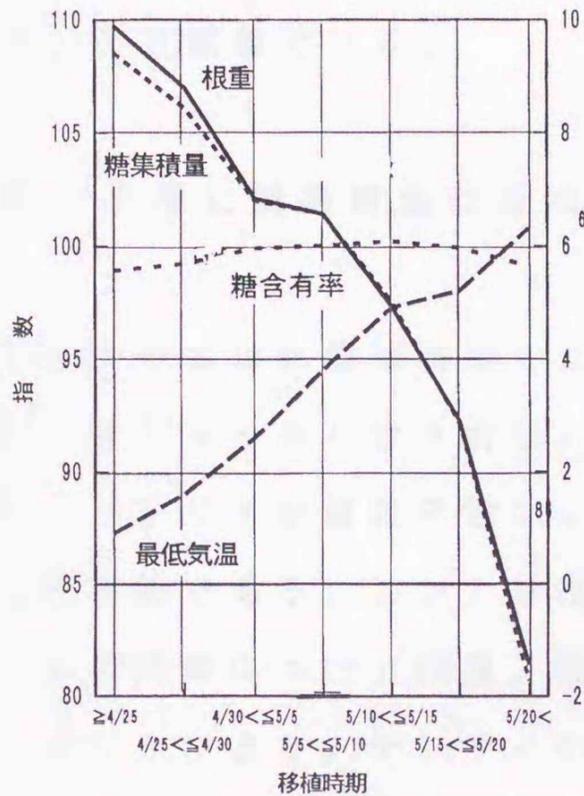
1976年から5年間、毎年、芽室製糖所集荷区域のテンサイ栽培農家の10%を無作為に抽出し調査対象とした。播種月日と移植月日を聞き取り、根重は出荷時の重量から求め、一戸当たり約20kgの菜根をランダムに採取して、糖含有率を常法で測定し解析に供した。調査戸数は各年約400戸で、5年間の総調査戸数は1938戸である。集計は各年の調査値の全平均値に対する相対値(%)を求め、5年間の平均値で示した。

#### 結果

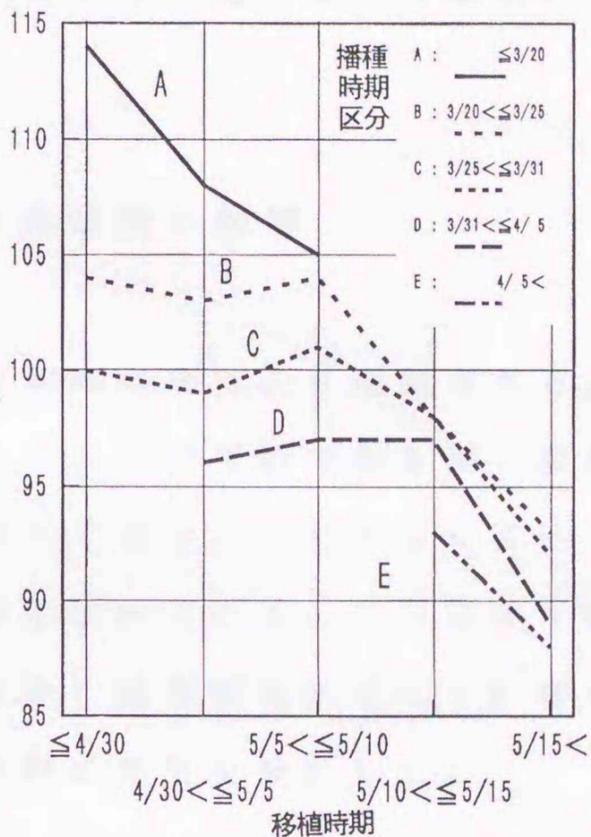
播種時期と移植時期の影響をみるために、移植時期を4月25日以前、5月20日以降、その中を5日毎に3区分し、計5つに区分した(第2-7図)。移植時期区分と根重、糖含有率、糖集積量の間をみると、糖含有率は移植時期による差がないが、根重は移植が早いほど直線的に増加していた。最早と最晩区分間に約30%の差があり、1日の早植えが1%の増収をもたらした。糖集積量も根重とほとんど同じ関係を示した。第2-8図内に帯広測候所の気象資料から、調査年と同じ5年間の日最低気温の平均値を示した。4月20日から25日にかけて、日最低気温がプラスに推移しており、通常この時期から一般農家は移植作業を始めている。

次に、同じ資料を用い5つの播種時期区分毎に移植時期を5区分にまとめ直し、根重との関係をみた(第2-8図)。5月10日以前の移植の場合、同じ移植時期区分で見ると、播種時期が早いほど、明ら

かに増収している。一方、B、C、Dに示すように、移植時期が早くても、播種時期が遅いと、すなわち苗齢が短いと増収を示さなかった。



第2-7図 移植時期と根重、糖含有率、糖集積量の関係  
芽室製糖所(1976-1980:1938戸調査)  
根重、糖含有率、糖集積量の指数：  
各年の総平均に対する指数の6年平均値



第2-8図 播種時期および移植時期と根重の関係  
芽室製糖所(1976-1980:1938戸調査)  
根重指数：各年の総平均に対する指数の6年平均値

### 考察

調査をした1938戸のテンサイは、土壌、施肥量、収穫時期を含めて多様な肥培条件で生育しているが、播種時期と移植時期の早晩が根重と糖集積量に直接、大きく影響していることは明らかであった。糖含有率については、根重と糖含有率との逆相関を示さずに、播種時期と移植時期などの生育期間に係わる要因以外の条件、例えばテンサイの体内窒素濃度などが、より強く影響している可能性が示唆された。

育苗日数が短いと、早期移植でも増収効果が現れず、移植後の低

温，霜害，風害などに対する障害耐性が弱いことを暗示している。これらの障害耐性を高める耐冷馴化，硬化苗育苗のためには，この図からみても，前節における考察と同じく約40日程度の育苗期間が必要である。本調査の結果では，3月15日以前に播種した農家はごく少数であったが，この範囲では40日程度の紙筒苗を日最低気温がプラスになる4月20日頃を限度に早植えすることによって確実に増収が図れると結論できる。

#### 第4節 生育と糖集積量に及ぼす収穫時期の影響

生育期間の長短は播種時期とともに収穫時期により規制される。播種時期はビニールハウス育苗によって延長が可能であるが，収穫時期は、テンサイが直接低温による凍害を受けることから人為的な延長は不可能である。しかし播種・移植時期と同様に生育期間を制限する収穫時期について根重，糖含有率と糖集積量に及ぼす影響を調査することにより，テンサイの登熟期の特徴を検討した。

##### 実験方法

1974年から1976年まで3ヶ年清川農場で抜取調査を行った。収穫時期は9月30日より11月30日まで13回行い，品種は「カーベメガモノ」で，紙筒播種は1974年，1975年，1976年の順に3月27日，29日，4月5日に行い，慣行栽培をした。収穫は1区3畦，畦長5mについて約60本抜取り，6反復で行い，毎回の合計調査本数は約360本である。予め各収穫時期区を4畦単位で無作為に割り付け，当該日に常法で調査した。

##### 結果

根重，糖含有率，糖集積量，茎葉重の推移を，各年の10月20日の調査値に対する相対値で表し，3年の平均値で示した(第2-9図)。

根重は10月20日まで増加し、この時期以降は増加がなかった。糖含有率は11月5日に最高となり、その後やや低下した。したがって糖集積量は10月30日で最高に達した。茎葉重は10月5日以降、収穫時期が遅れるほど、ほぼ直線的に減少した。茎葉重の推移は、合わせて図示した帯広測候所の同じ3ヶ年の日最低気温の平均値の推移と、半旬遅れで密接な平行関係を示した。糖含有率は日最低気温がマイナスになり、茎葉が損傷を受ける時期まで増加した。

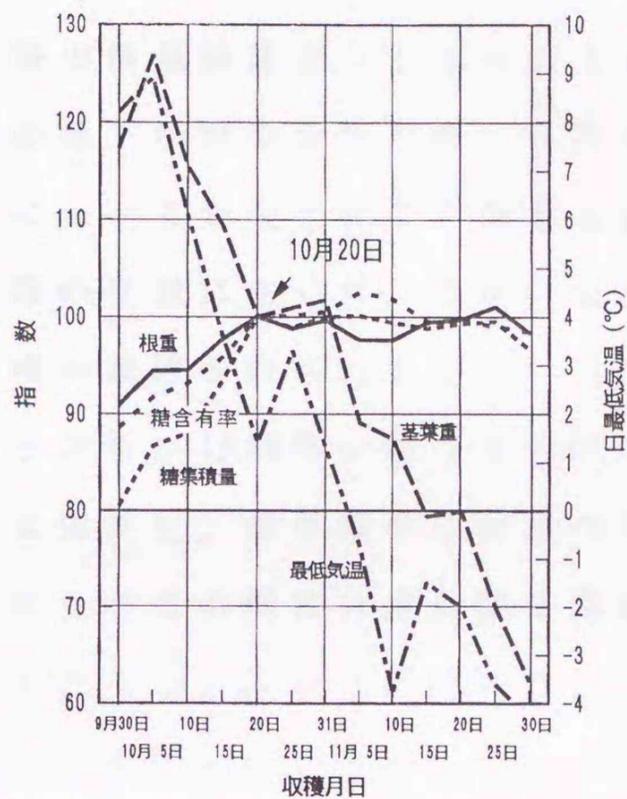


図 2-9 収穫時期と根重、糖含有率、糖集積量の関係  
帯広市上清川町(1974-1976:3年平均)  
10月20日を100とする指数で表示、気温は実数

第 2-5 表 収穫時期(日数)と各形質の回帰式

形 質	回 帰 式 <sup>1)</sup>	相 関 係 数
根 重	$Y = -0.0041X^2 + 0.352X + 92.1$	$R=0.871*$
糖 含 有 率	$Y = -0.0084X^2 + 0.666X + 88.2$	$R=0.967**$
糖 集 積 量	$Y = -0.0119X^2 + 0.973X + 81.1$	$R=0.961**$
茎 葉 重	$Y = -0.959 X + 124.81$	$r=0.976**$

1) X: 9月30日を起点とする日数。

## 考察

根重，糖含有率，糖集積量について，収穫時期による推移を2次回帰曲線で近似させ，それぞれ最大値を示す収穫時期を示した(第2-5表)。通常は10月20日頃がテンサイ糖製造の開始時期に当たるが，9月30日以降，この時期までの根重と糖含有率の増加は大きく，菜根が収穫される10月20日頃から11月25日頃までは，根重，糖含有率，糖集積量の変動は小さかった。

ヨーロッパの主要テンサイ栽培地域においては，直播栽培の播種時期が北海道の直播の播種時期より1ヶ月以上早いために登熟が早く，収穫期の気温の低下が緩やかなため，9月からの収穫が可能で，収穫期間も北海道に比べてかなり長く、単収も高い<sup>2,3)</sup>。そのため播種時期，収穫時期の早晩に応じて，地域により糖分型品種，根重型品種，中間型品種の栽培が行われている。北海道では生育期間と登熟期間が短いことから，1986年の糖分取引開始以降，移植栽培の根重を高める特性を生かし，糖集積率に重点おいた品種を育成，導入することでヨーロッパ並の糖含有率と糖集積量を安定的に確保している。

## 第5節 まとめ

本章では，生育期間が糖集積量に及ぼす影響について検討した。同一畑における播種時期が根重と糖含有率に及ぼす影響(第1節)と同じ影響が，多様な栽培条件にある一般畑における調査でも認められた(第3節)。収穫時期に関する調査から，10月における糖含有率の急激な上昇が特徴的であった(第4節)。

以上の結果から，播種時期と移植時期が早いほど，さらに収穫時期が遅いほど糖集積量が増加するが，播種と移植の早晩は根重に，

収穫の早晩は糖含有率に対して影響が強く、それぞれ根部器官の形成時期と糖集積期に当たる。

農家におけるテンサイの糖集積量に及ぼす肥培技術の効果を検討する場合、第一に生育期間の効果を評価しておく必要がある。

早期移植と晩期収穫時期の限界が、日最低気温がマイナスになる時期により規制され、本調査を行った清川農場の場合、テンサイの畑における生育期間は4月20日から10月20日まで、6ヶ月の180日であった。紙筒への早期播種の限界を検討した結果、無加温の条件では、3月15日が増収に効果のある上限であり、全生育期間は205日（約7ヶ月）であった。気温と降水量との関係（第1-1図）で示したように、3月15日播種の場合でもドイツ、アメリカ合衆国の栽培可能日数である230日（約8ヶ月）よりも短い。紙筒移植をしても依然としてそれらの国に比べて生育期間が短い北海道の自然条件で、世界の最高水準の糖集積量を挙げている理由としては、(1)いずれの農家においても、テンサイは育苗期間中、最適な養水分と薬剤の施用のもとに均質に育苗され、高能率の移植機で短期間に早期移植されていること、(2)直播栽培では実現が困難な、安定した栽植密度と斉一な株間が確保されていること、(3)外国には見られない、必須成分を含むテンサイ専用肥料が、移植と同時に苗の周辺に全量作条施肥され施肥効果が高いこと、(4)1986年に開始された糖分取引以降、高い糖含有率の品種が育成、導入されたこと等が挙げられる。

### 第3章 地上部の競合が糖集積量に及ぼす影響

紙筒移植栽培においてテンサイはビニールハウス内で好適な養水分と温度条件の基に生育することができ、種子の発芽能力を阻害する要因がないため、出芽期が揃い均一な苗となっている。さらに、空苗、枯死苗、生育不良苗などを予め選別して健苗を等しい株間で移植するため、移植後に苗が枯死する割合は極めて低く、茎葉の展開が早く、圃場に対する植被率が高いことから、移植栽培では直播栽培で要求される栽植密度より少ない密度で良い可能性がある。そこで異なる畦幅、施肥量、品種を用いて、移植テンサイの適正な栽植密度と様式を検討するとともに、生育後半に生育調整剤を散布することにより茎葉の成長抑制し、糖集積量を向上させる実験を行い、地上部の競合が生育と糖集積量に及ぼす影響を解析した。

#### 第1節 十分な養水分供給条件における栽植密度が乾物生産に及ぼす影響

テンサイ地上部の競合、すなわち栽植密度の効果は、畑の生産力および施肥量との関連で最適栽植密度として論じられるが、第1節では根重と地上部重に及ぼす栽植密度の影響を解析するために、実験Iとして養水分はまったく同一条件の基に、移植苗の地上部の生育領域を規制するポット実験と、実験IIとして大型の磔耕栽培装置を用い、窒素の給与条件と栽植密度を変えた実験を実施した。

##### 実験I ポット試験

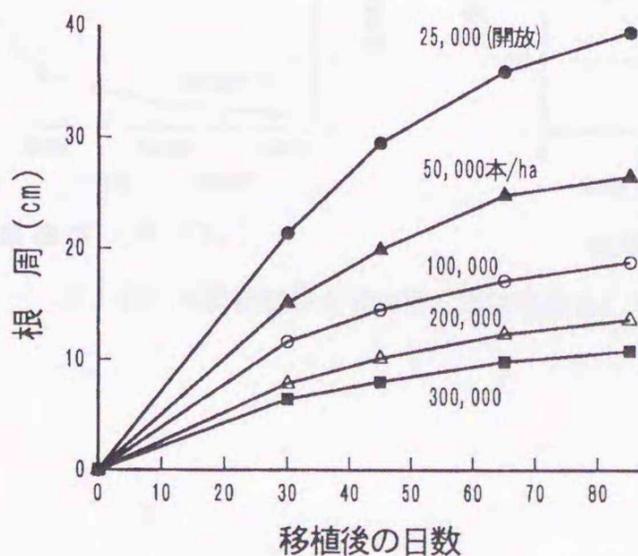
##### 実験方法

栽植密度50,000本、100,000本、200,000本、300,000本 $\text{ha}^{-1}$ に相当する面積 $\text{cm}^2$ 個体 $^{-1}$ にした直径が各々20.6cm、25.2cm、35.7cm、50.4

cmで、高さ60cmの円筒金網を予め石英砂を充填した20Lのポットに取り付け、草丈の伸長に合わせて#610の黒色寒冷紗を上部へ引き上げることにより疑似的に遮蔽処理した。参考処理として生育領域を制限しない開放区を設けた。品種は「カーベポリ」で、殺菌した川砂を充填した紙筒に1973年3月7日に播種し、4月6日に移植、6月30日に収穫した。ポット当たり1個体を移植し4ポットで1区とした。播種から5月9日まで礫耕標準培養液(250Nmg, 200P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>mg, 350K<sub>2</sub>Omg, 50MgOmg, 600CaOmg, 5.0B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>mg, 1.0MnOmg, 1.0Femg, 1.0Znmg L<sup>-1</sup>)で栽培し、5月10日から6月30日までは窒素のみ標準濃度の2分の1(125Nmg L<sup>-1</sup>)とし、各ポットへ同じ培養液を1日3回循環させた。

### 結果

移植後30日以降に調査した菜根肥大の推移を根周で見ると(第3-1図)、養水分条件が全く同一でも、栽植密度が高くなるに従って根周は小さくなった。移植後85日目の収穫時における全乾物重は、栽植密度の上昇に伴って根部、冠部では若干減少し、葉身+葉柄と根部では、相対的に緩やかに減少した(第3-1表)。葉身と葉柄の合計重量の処理間差は、他の部位の重量差に比較して小さく、根と冠部の処理間差が大きかった。根毛乾物重も他の部位同様に、生育領域が狭いと少なかった。



第3-1図 栽植密度が根周の推移に及ぼす影響

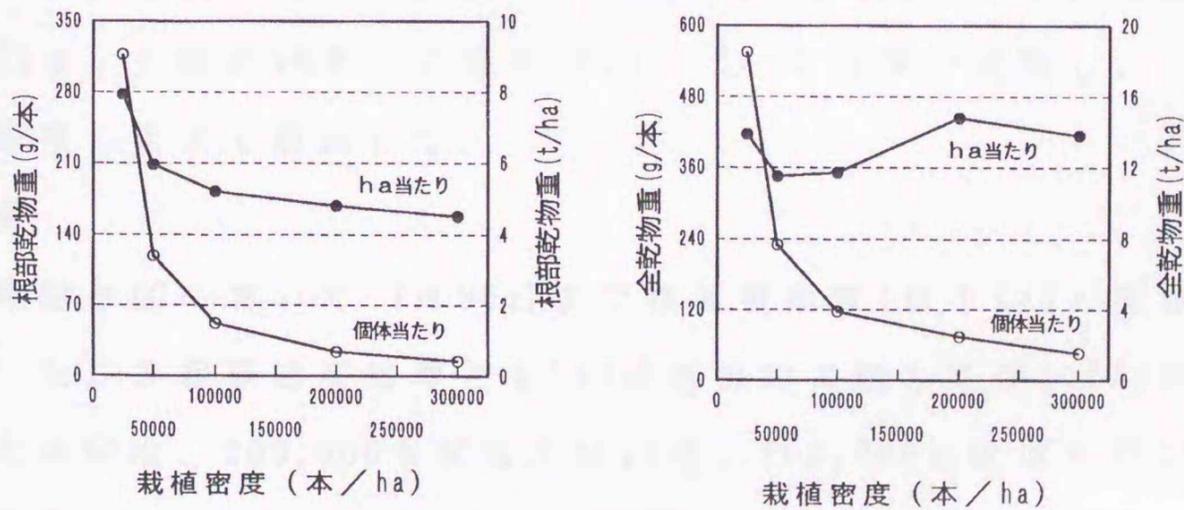
第3-1表 生育領域が乾物生産に及ぼす影響

栽植密度 (本 ha <sup>-1</sup> )	乾物重 (g/本)					根毛
	根部	葉部	冠部	枯葉	全重	
開 放	317	99	120	19	555	6.4
50,000	119	51	46	14	230	3.7
100,000	52	30	24	11	117	1.9
200,000	24	34	10	6	74	1.4
300,000	15	21	6	4	46	1.1

考察

個体当たりの乾物重とともに，ha当たりの乾物重の計算値を示した（第3-2図）。全乾物重 ha<sup>-1</sup>は処理間で差が小さかった。しかし，根部乾物重 ha<sup>-1</sup>は栽植密度が高いほど，すなわち生育領域が狭いほど減少した。

この結果から乾物生産に及ぼす生育領域の影響として，テンサイの単位面積当たり全乾物生産に対する影響は小さいが，根部乾物生産に対しては強く現れることを示した。



第3-2図 栽植密度が全乾物重と根部乾物重に及ぼす影響

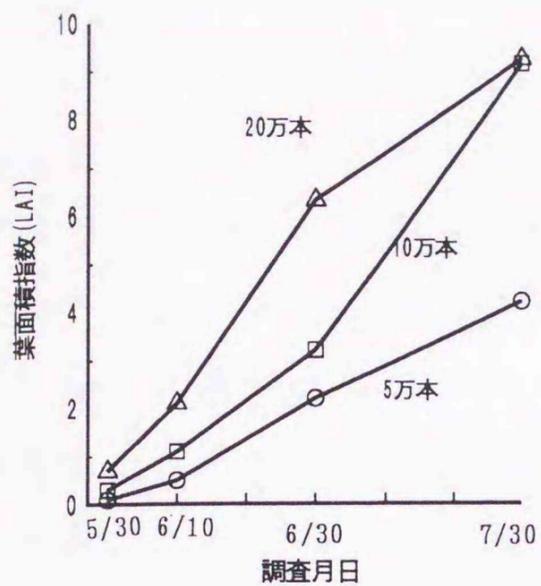
## 実験 II 礫耕栽培試験

### 実験方法

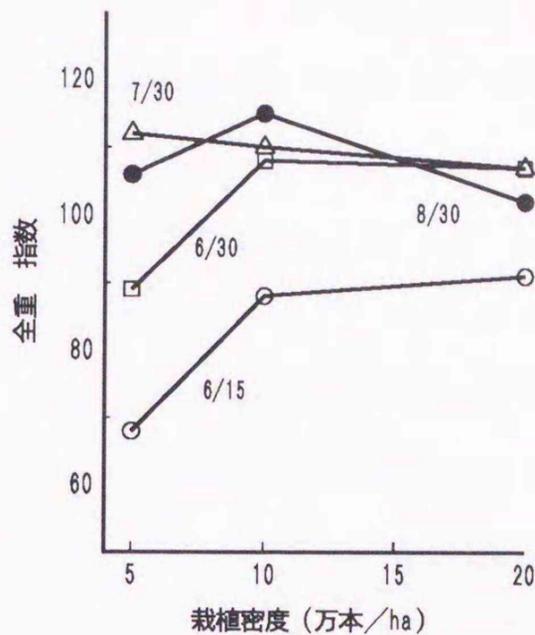
大型の礫耕栽培装置を用いて実験を行った。1 処理分の栽培槽の大きさは幅 1.5m, 深さ 55cm, 長さ 5.8m で面積は  $8.7\text{m}^2$ , 容量は  $4.5\text{m}^3$  である。この栽培槽に径 8mm から 10mm の小礫を充填し, ここに紙筒苗をハンド移植器を用いて移植することにより実験を行った。栽植密度は 50,000本, 100,000本, 200,000本  $\text{ha}^{-1}$  の (以下 50,000本区と略) 3 処理で, 正方形植とし, 株間は各々 44.7cm, 31.6cm, 22.4cm である。窒素の給与は 4 月 1 日から 6 月 15 日, 6 月 30 日, 7 月 30 日と 8 月 30 日まで給与する 4 処理を設けた。品種は「カーベポリ」で, 殺菌した川砂を充填した紙筒に, 1974 年 4 月 1 日に播種し, 礫耕標準培養液 ( $250\text{Nmg}$ ,  $200\text{P}_2\text{O}_5\text{mg}$ ,  $350\text{K}_2\text{Omg}$ ,  $50\text{MgOmg}$ ,  $600\text{CaOmg}$ ,  $5.0\text{B}_2\text{O}_3\text{mg}$ ,  $1.0\text{MnOmg}$ ,  $1.0\text{Femg}$ ,  $1.0\text{ZnmgL}^{-1}$ ) を灌注し紙筒苗を育成した。礫耕床には栽植密度処理別に 5 月 6 日に移植した。培養液は播種時期から各窒素切除時期まで礫耕標準培養液を 1 日 3 回循環し, 各窒素切除時期以降は窒素のみ除いた培養液を循環させた。実験の 1 区の畦数と個体数は 50,000本, 100,000本, 200,000本区の順に 4 畦の 52本, 5 畦の 90本, 7 畦の 175本とし 2 反復で実施し, 10 月 24 日に収穫し定法で調査した。

### 結果

窒素給与区において 7 月 30 日まで葉面積指数 (以下 LAI と記載) を調査した。3 栽植密度処理とも LAI は直線的に増えたが, LAI が 4 になった時期は, 200,000本区は 6 月 15 日, 100,000本区は 6 月 30 日, 50,000本区は 7 月 20 日頃であった (第 3-3 図)。7 月 30 日における 100,000本と 200,000本区の LAI は 9 と, 50,000本区の 2 倍であった。収穫期の調査結果を全 12 処理区の平均値に対する相対比 (%) で示した。根と茎葉の新鮮重を合計した全重は 6 月 15 日窒素切除区では 3 栽植密度区ともに, それより遅い 3 窒素切除区より明らかに少なく,



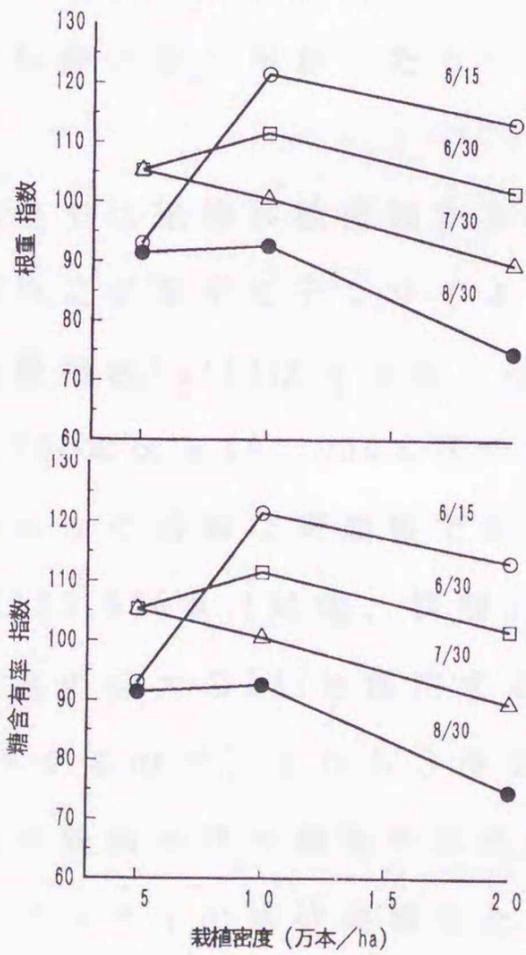
第3-3図 栽植密度が葉面積指数の



第3-4図 窒素給与期間と栽植密度が全重に及ぼす影響

葉面積指数の推移に及ぼす影響

全重指数：全区の平均値に対する相対指数



第3-5図 窒素給与期間と栽植密度が根重、糖含有率、

糖集積量、TR比に及ぼす影響

各調査項目の指数：全区の平均値に対する相対指数

### 糖集積量、TR比に及ぼす影響

各調査項目の指数：全区の平均値に対する相対指数

6月30日窒素切除の50,000本区以外の8処理の差はほとんどなかった(図3-4)。根重は各窒素切除区において10,000本区は200,000本区より高く、6月15日窒素切除の100,000本区の根重が最も高かった。6月15日と30日の窒素切断区の50,000本区の根重は100,000本区より低かった。TR比は各窒素切除で栽植密度が高いほどやや高かったが、窒素処理の影響が極めて大きく、切除時期が遅れるほどTR比は高かった。糖含有率は6月15日と30日の窒素切除区には差がなかったが、7月30日、8月30日と窒素切除時期が遅れるほど大きく低下した。糖集積量は窒素切除時期が遅れるほど大きく低下し、窒素処理の影響は6月15日の50,000本区を除いて栽植密度の影響よりも大きかった。糖集積量は4窒素処理区とも100,000本区で最も大きく、窒素切除が最も早かった6月15日では処理間差がより拡大した。

### 考察

礫耕栽培では紙筒移植直後から養水分が十分に施用されるので、一般の畑地に生育するテンサイより茎葉の展開が約1ヶ月早い<sup>64)</sup>。最適葉面積指数(LAI)は4前後との報告が多い<sup>8,47,73)</sup>が、本実験における100,000本区と200,000本区の場合には、7月30日には指数9に達し、明らかに過剰な葉面積であった。最大糖集積量は6月15日窒素切除の100,000本(畦幅、株間31.6cm)区で得られた(第3-5図)。この処理区の最大のLAIを推定すると(第3-3図)、窒素切除処理以降LAIが低下するので、2から3程度と考えられる。

地上部の栽植条件を畑条件に近似させた本実験結果から、栽植密度処理はテンサイの単位面積当たりの全重(根重と茎葉重)に対する影響は小さいが、根重に対しては根部への分配の差異として大きく現れること、糖含有率に対しては個体根重(根重/栽植数)の大小の影響は小さく、窒素処理の影響が大きいことを示した。

## 第2節 畦幅，株間と栽植密度の影響

紙筒移植テンサイの適正な栽植密度と様式に関する知見を得るため，畦幅と栽植密度を変えて栽培試験を行った。

### 実験方法

1969年に幕別町の褐色低地土において栽植密度が40,000本，50,000本，60,000本，70,000本，80,000本，90,000本 $\text{ha}^{-1}$ となるように，正方形植と畦幅42cm，48cm，54cm，60cmのもとに株間を変え，1区6畦，畦長5.4mの6反復で試験を行った(第3-2表)。品種は「カーベポリ」，移植栽培の紙筒播種は4月6日，移植は5月5日から7日に行った。施肥はテンサイ用肥料S104を1,200 $\text{kg}\text{ha}^{-1}$ 全層施肥し，その他の栽培管理は慣行法で行った。収穫は11月1日から4日に6畦の中央4畦について行い定法で調査した。

第3-2表 栽植密度別の畦幅と株間(cm)

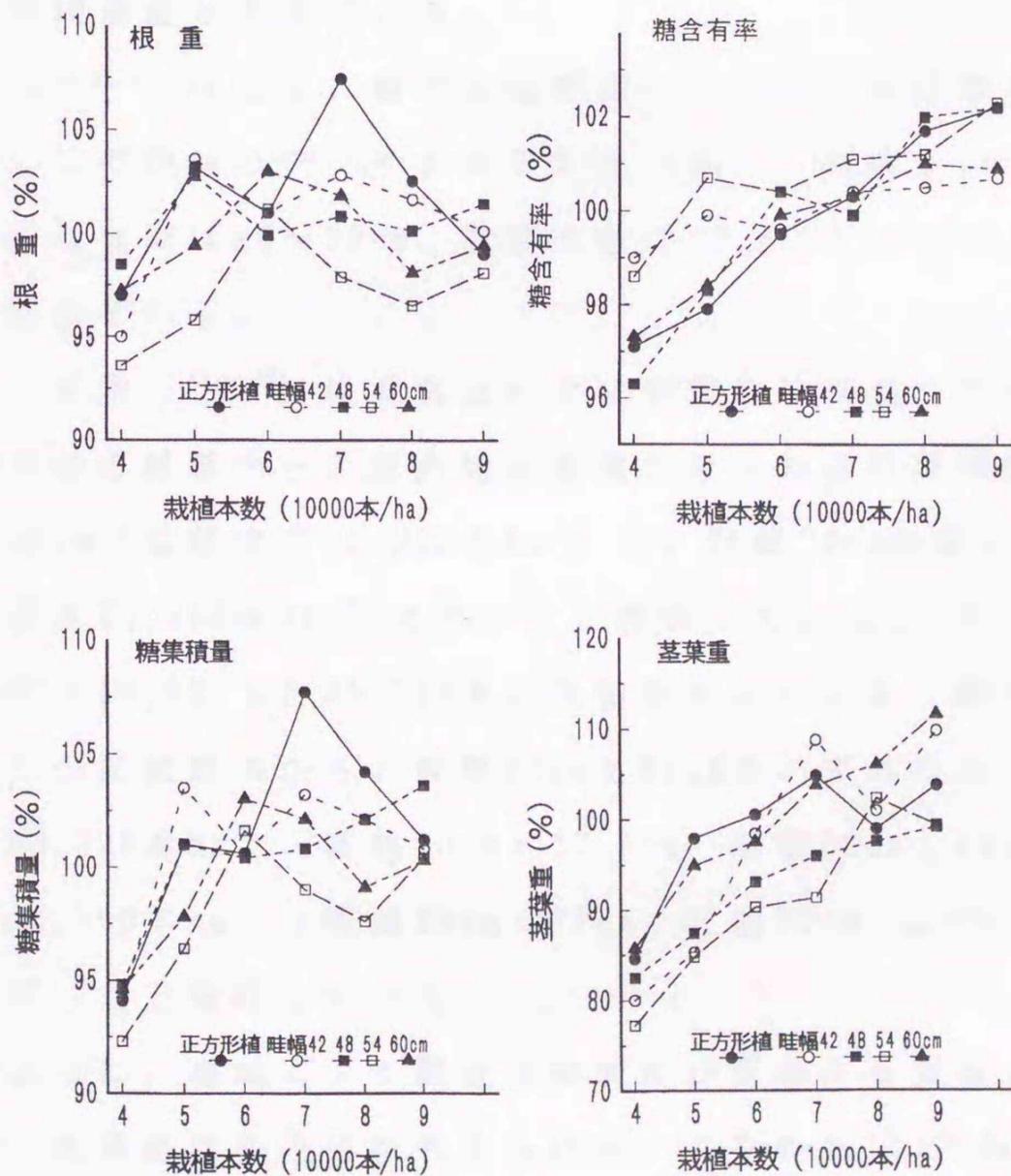
栽植密度 本 $\text{ha}^{-1}$	正方形 cm	畦幅 cm			
		42	48	54	60
40,000	50.0	59.5	52.1	46.3	41.7
50,000	44.7	47.6	41.7	37.0	33.3
60,000	40.8	39.8	34.8	30.9	27.8
70,000	37.8	34.0	29.8	26.5	23.8
80,000	35.4	29.8	26.0	23.1	20.8
90,000	33.3	26.4	23.1	20.6	18.5

注) 表中の数値は株間(cm)を示す。

### 結果

実験結果は各項目とも，全試験区の平均値に対する相対比(%)で畦幅毎に図示した(第3-6図)。畦幅毎に根重の最大値が得られた栽

高となり，畦幅42cmでは50,000本，48cmでは50,000本，54cmでは60,000本，60cmでは60,000本であった。畦幅54cmと60cmの場合には50,000本以下と70,000本以上でともに減収した。糖含有率は各畦幅で栽植密度が多いほど高く，畦幅の影響は明瞭ではなかった。最大糖集積量が得られた畦幅毎の栽植密度(本 $ha^{-1}$ )は，正方形植では70,000本区，畦幅42cmでは50,000本区，48cmでは90,000本区，54cmと60cmでは60,000本区であった。糖集積量は根重と同じく畦幅54cmと60cmの場合には60,000本区が最大で、これより栽植密度が高くて低くても低下した。茎葉重は70,000本 $ha^{-1}$ 以下の場合には，栽植密度が高いほど茎葉重が多かったが，80,000本 $ha^{-1}$ 以上では畦幅54cmと60cmの場合にのみ茎葉重が増加した。



第3-6図 栽植密度が根重,糖含有率,糖集積量と茎葉重に及ぼす影響

## 考察

糖集積量に及ぼす畦幅と栽植密度の処理は、生育初期の植被率と生育後半の競合の影響がそれぞれ別に働くために複雑である。最大の糖集積量は正方形植70,000本(畦幅株間37.8cm)区で得られ、全処理区の中で著しく高い値であった。この糖集積量と、畦幅60cm区における最大糖集積量(60,000本)との差は約5%あり、畦幅60cmあるいは、十勝地方に多い畦幅66cmの栽培では、潜在的なテンサイの糖集積能力を低下させていると考えている。

現在は農業機械による作業性を優先させるために、大部分60cmから66cmの畦幅であるが、本試験結果からみると、この範囲の畦幅の場合には、60,000本(株間25~28cm)程度が、褐色低地土における移植の栽植密度と考えている。

三谷ら<sup>53,75,76)</sup>は低温、寡照な根釧地方における紙筒移植の試験結果から、この地域のテンサイのTR比は高く、畦幅が66cmの場合には、適正な株間は25~30cm、栽植本数は50,000本から60,000本であると報告している。

一方、堅木ら<sup>37,38,39)</sup>は北海道内では相対的に高温で多照である札幌市における試験から、最大糖集積量が得られる株間は畦幅60cmの場合に20cm(栽植密度80,300本 $ha^{-1}$ )で、畦幅70cmの場合にも20cm(栽植密度70,100本 $ha^{-1}$ )であったと報告している。今ら<sup>49)</sup>は道央の長沼町で60,300本と80,200本の栽植密度における、配列比(株間/畦幅)の試験結果から、畦幅70cmと50cmのいずれの場合にも株間の狭い80,200本 $ha^{-1}$ (畦幅70cm:17.5cm, 畦幅50cm:25cm)の糖集積量が60,300本 $ha^{-1}$ (畦幅70cm:23cm, 畦幅50cm:29cm)より明らかに増収したと報告している。

このように、地域により最適栽植密度が変動する要因として、土壌水分、土壌窒素の差異が考えられる。すなわち(1)大島<sup>51)</sup>はテンサイ畑における調査資料から、蒸発散量より降水量が少ない日数を

比較すると，札幌75日，帯広50日，釧路25日と差があり，北海道中央部の土壤水分は相対的に少ないこと，(2)北海道東部の畑作地帯は火山性土が主体で，中央部，北部の畑作地帯に多い褐色森林土に比べて土壤窒素が多く，有効水分量も多いこと<sup>45)</sup>，(3)井村ら<sup>32)</sup>の調査から，空知，上川地方のテンサイの茎葉重は十勝地方に比べて小さく，無窒素栽培をした場合の窒素吸収量が十勝地方の約半分と少ないことなどである。これらによって茎葉の競合の程度に差が生じ，最終的に最適栽植密度の地域間差を生んでいると考えられる。

現在の紙筒移植栽培では，苗を選別し健苗を機械移植することから，移植密度を収穫本数とみて差し支えない状況にある。現在の目標栽植密度70,000本 $ha^{-1}$ については，とくに畦幅が広い北海道東部では最適栽植密度がこの目標値より低いと考えている。

### 第3節 移植栽培による斉一な栽植の効果

紙筒移植栽培の普及の当初は手植であったが，1965年代にはトラクター牽引型のビート専用移植機が開発され，それ以来，一般テンサイ畑における株間間隔が均一になり，直播テンサイの株間間隔とは様相を異にしている。そこで，この移植テンサイの斉一な株間間隔の糖集積量に対する影響を明らかにするため，人為的に株間を変動させて栽培試験を行った。

#### 実験方法

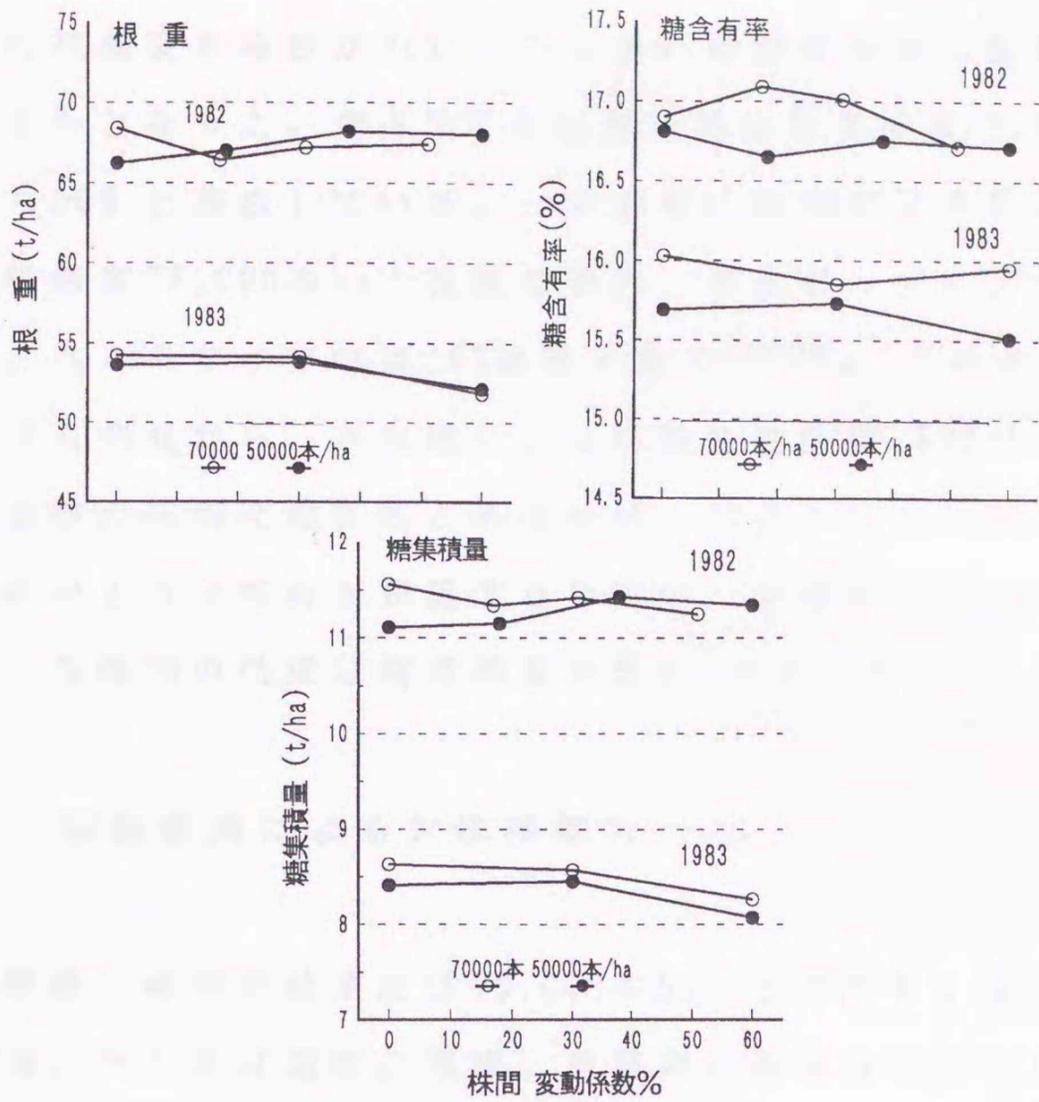
1982年と1983年に，帯広市において50,000本と70,000本 $ha^{-1}$ の栽植密度処理のもとで紙筒苗の植付け株間に変動処理を設け，栽培試験を実施した。50,000本 $ha^{-1}$ 区では，変動係数で0%，18%，38%，60%，70,000本 $ha^{-1}$ では0%，17%，31%，51%の各4処理を設け，株間の範囲50,000本区の場合には10cmから56cm，70,000本区の場合には9cm

から39cmとし、あらかじめ所定の株間変動になるように株間棒を作り、これに従って紙筒苗を手植した。品種は「カーベメガモノ」で、1982年と1983年の順に、播種は3月17日と19日、移植は5月1日と4月30日、収穫は10月22日と19日に実施した。試験は乱塊法6反復で行い、1区5畦、畦長6mである。施肥は、1982年はS169を1,600 kg $ha^{-1}$ 、1983年はS150を1,500 kg $ha^{-1}$ をそれぞれ作条施肥した。

常法による1区当たりの総個体を一括して調査分析する根重と糖含有率の調査の他に、個体別に根重と糖含有率を測定し変動係数を求めた。根重の調査個体数は、50,000本区は360本、70,000本区は270本で、糖含有率については、50,000本区は120本、70,000本区は90本である。

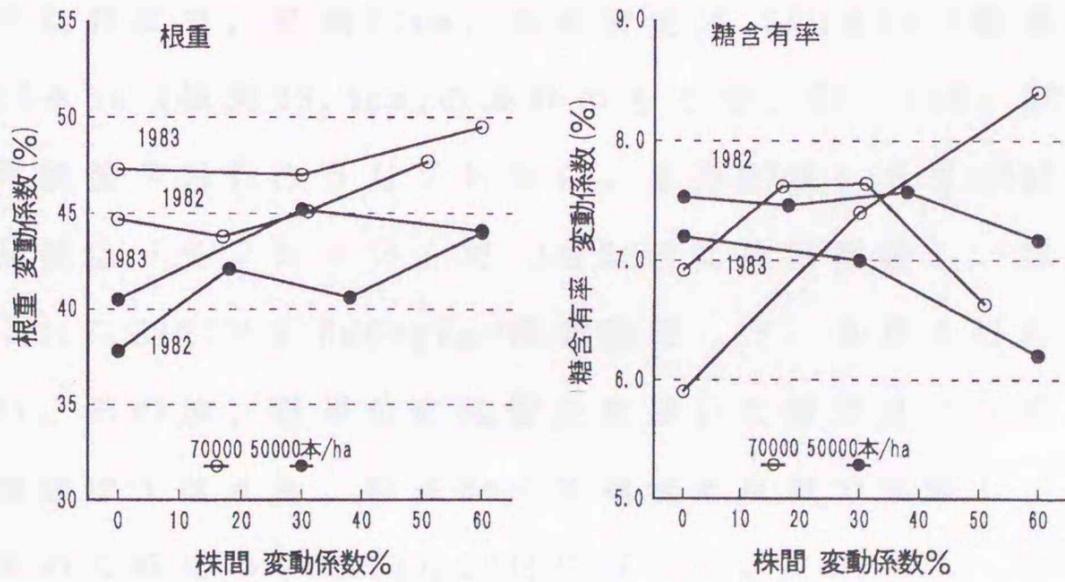
### 結果

1982年は1983年に比べ根重と糖含有率がともに高く、糖集積量の高い年であった。1982年の根重は株間の変動係数が増えても50,000本区、70,000本区とも低下しなかったが、1983年には株間の変動係数が60%で根重が低下した。1982年と1983年とも、50,000本区の糖含有率は70,000本区より低かったが、株間変動の影響は明瞭でなかった。1982年の糖集積量は株間変動の影響がほとんどなかったが、1983年には両栽植密度とも株間変動60%区で糖集積量が減少した。栽植密度の糖集積量に対する影響については、50,000本区は70,000本区よりわずかに低かった(第3-7図)。株間変動が個体根重と個体糖含有率の変動に及ぼす影響を変動係数で評価すると、根重では両栽植密度とも株間変動が大きいほど、個体変動が増え、変動水準は70,000本区が大きかった。糖含有率は、1982年は株間変動の影響が明瞭でなかったが、1983年には株間変動の増加で、50,000本区の個体変動が減り、70,000本区では逆に増加した(第3-8図)。



第3-7図 株間変動が根重、糖含有率

糖集積量に及ぼす影響



第3-8図 株間変動が固体根重と固体糖含有率に及ぼす影響

## 考察

移植の株間変動係数が30%以下であれば糖集積量に影響しないことが明らかとなった。今井<sup>30,31)</sup>は直播の株間変動係数は大きく80%から90%と調査している。一方移植の株間変動係数は、畦幅60cm, 栽植密度70,000本ha<sup>-1</sup>程度の場合, ホルダータイプの移植機で7%前後, ベルトタイプでは10%前後であり<sup>22,23,24)</sup>, これの株間変動係数に関する知見から, 本実験による株間変動係数50%以上の処理区を直播栽培の株間変動係数とみなせば, 根重と糖含有率がともに低い1983年のような生育が遅延する年には, 直播栽培に対する移植栽培の斉一な株間の効果は糖集積量で数%と考えられる。

## 第4節 移植栽培による欠株補償力

紙筒移植の標準栽植密度は70,000本ha<sup>-1</sup>とである。移植後に何らかの障害, たとえば霜害, 風害, 稚苗期の病害などにより, 欠株が生じた場合に, 隣接株はそれらの欠株による減収をかなり補償していると考えられる。その補償能力を調査するため人為的に欠株処理を時期を変えて行った。

### 実験方法

1985年に帯広で, 畦幅60cm, 栽植密度50,000本ha<sup>-1</sup>(株間33.3cm)と70,000本ha<sup>-1</sup>(株間23.8cm)の条件のもとで, 0%, 15%, 30%の欠株処理を移植後7日目の5月7日から, 5月27日, 6月19日の3回行った。品種は「モノエース」で3月23日に紙筒播種し, 移植と同日の5月1日にS121を1,360kg/ha<sup>-1</sup>作条施肥した。5月1日に全区の移植を行い, その後, 畦単位に乱数表を用いて所定日に欠株処理を行った。試験は1区4畦, 畦長6mの乱塊法6反復で実施し, 収穫は4畦の中央の4畦について10月21日に行った。

## 結果

各処理の収穫本数は、70,000本 $\text{ha}^{-1}$ 系列では所定の欠株処理数と違いがなかったが、50,000本 $\text{ha}^{-1}$ 系列では欠株処理数以上に少なかった(第3-2表)。糖含有率は70,000本 $\text{ha}^{-1}$ 系列では欠株処理により1%~2%低下し、50,000本 $\text{ha}^{-1}$ 系列では1%~4%低下した。糖集積量では栽植密度が70,000本 $\text{ha}^{-1}$ で15%の欠株処理の場合、5月7日、27日、6月19の順に、1, 1, 4%減収し、30%の欠株の場合には、順に4, 2, 7%と欠株の処理時期が遅れるほど減収割合が増えた。栽植密度が50,000本 $\text{ha}^{-1}$ で15%の欠株の場合、5月7日、27日、6月19日の順に、6, 5, 3%と減収し、30%の欠株の場合には、順に12, 7, 9%と欠株の処理が早いほど減収率が増える傾向を示した。欠株処理の根重に及ぼす影響は、糖含有率が大きく低下した50,000本 $\text{ha}^{-1}$ 区の5月7日の30%欠株処理区を除いて糖集積量と同様の影響を受けた。

## 考察

当初、欠株処理が遅いほど減収すると予測したが、50,000本 $\text{ha}^{-1}$ では欠株処理が早い程、70,000本 $\text{ha}^{-1}$ では欠株処理が遅い程減収が大きかった。この50,000本 $\text{ha}^{-1}$ で大きく減収した要因としては生存する栽植本数が30,000本 $\text{ha}^{-1}$ 代では植被率が低いため、欠株補償が十分できなかったこと、日射が直接畑土壌に到達する面積が多く、紙筒苗周辺土壌がかなり乾燥し、テンサイの初期生育を抑制していたことが挙げられる。一方70,000本区の場合には、5月中の欠株であれば15%から30%の相当な欠株でも、2%程度の糖集積量の低下であった。欠株0%区の70,000本 $\text{ha}^{-1}$ (株間23.8cm)区と50,000本 $\text{ha}^{-1}$ (株間33.3cm)区の根重と糖集積量に差がなく、20,000本 $\text{ha}^{-1}$ 増植の効果がなかった。70,000本区の狭い株間(23.8cm)が茎葉の競合を強め、受光効率と菜根への光合成産物の集積率を低下させていると考えている。

第3-3表 時期別の欠株処理が糖含有率、根重と糖集積量に及ぼす影響

欠株率 %	処 理 時 期	収 穫 本 数 (本 ha <sup>-1</sup> )		糖 含 有 率 (%)	
		5 × 10 <sup>4</sup> 本 (%)	7 × 10 <sup>4</sup> 本 (%)	5 × 10 <sup>4</sup> 本 (%)	7 × 10 <sup>4</sup> 本 (%)
0		501( 72)	696(100)*	15.82( 99)	15.99(100)*
15	5月 7日	403( 58)	589( 85)	15.73( 98)	15.86( 99)
15	5月 27日	400( 57)	597( 86)	16.05(100)	15.76( 99)
15	6月 19日	408( 59)	518( 74)	15.84( 99)	15.93(100)
30	5月 7日	304( 44)	473( 68)	15.61( 98)	15.76( 99)
30	5月 27日	322( 46)	467( 67)	15.17( 95)	15.72( 98)
30	6月 19日	312( 45)	473( 68)	15.69( 98)	15.88( 99)
LSD 5%		49( 7)		0.36(2)	

欠株率 %	処 理 時 期	根 重 (tha <sup>-1</sup> )		糖 集 積 量 (tha <sup>-1</sup> )	
		5 × 10 <sup>4</sup> 本 (%)	7 × 10 <sup>4</sup> 本 (%)	5 × 10 <sup>4</sup> 本 (%)	7 × 10 <sup>4</sup> 本 (%)
0		52.8(100)	52.8(100)*	8.36( 99)	8.43(100)*
15	5月 7日	50.6( 96)	52.3( 99)	7.95( 94)	8.29( 98)
15	5月 27日	49.9( 95)	52.7(100)	8.01( 95)	8.30( 98)
15	6月 19日	51.6( 98)	50.7( 96)	8.17( 97)	8.08( 96)
30	5月 7日	47.8( 91)	51.4( 97)	7.46( 88)	8.10( 96)
30	5月 27日	51.8( 98)	52.7(100)	7.85( 93)	8.28( 98)
30	6月 19日	48.8( 92)	49.1( 93)	7.64( 91)	7.80( 93)
LSD 5%		NS		0.53(6)	

\* ( )内は欠株率0%の70,000本 ha<sup>-1</sup>処理区に対する相対値(%)。

移植テンサイは稚苗期には施肥と病害防除が完全に行われ、移植時には、苗がない空紙筒や小苗が選別されて健全な苗が移植されることから移植後は欠株がほとんどない。しかし移植後に風霜害の発生で欠株が生じた場合には強い補償作用が期待できる。一方欠株0%区と欠株処理区の間、両栽植密度の間の糖集積量の差は以外に小さく、原因として70,000本区では狭い株間のために地上部の競合期間が長いと考えられている。株間の確保(30cm以上)に重点を置いた紙筒移植の栽植様式に変えていく必要がある。

## 第5節 品種，窒素施肥量と栽植密度の影響

窒素施肥量の多少により茎葉の生育量は容易に増減する。品種と窒素施肥量を変えて，栽植密度と様式がテンサイの生育と糖集積量に及ぼす影響を検討した。

### 実験Ⅰ 窒素施肥量と栽植密度に関する試験

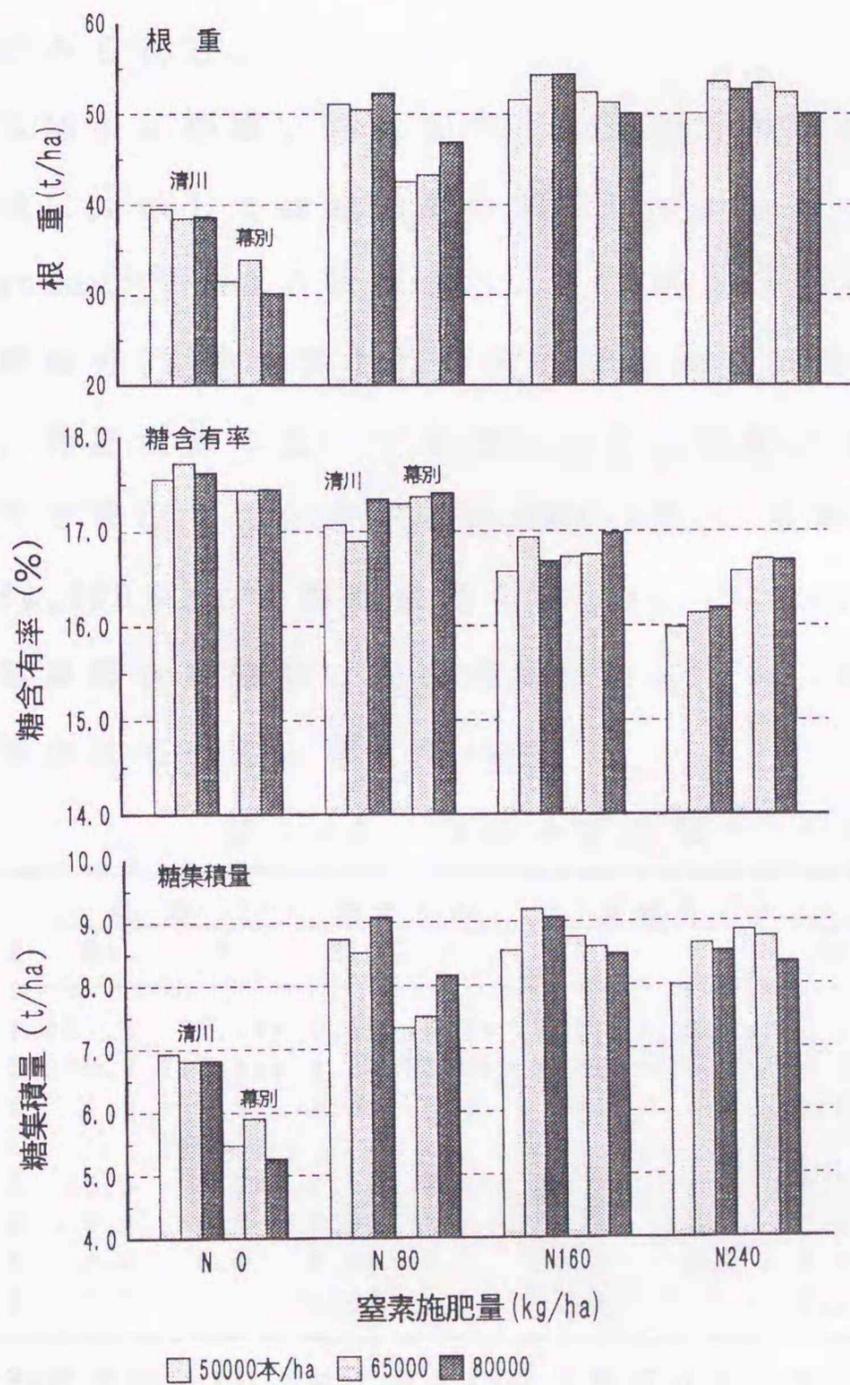
#### 実験方法

1981年に帯広市上清川の褐色火山性土と幕別町相川の褐色低地土において，窒素施肥量  $0\text{kg}$ ， $80\text{kg}$ ， $160\text{kg}$ ， $240\text{kg}\text{ha}^{-1}$  の4処理と，畦幅 $60\text{cm}$ のもとで栽植密度 $50,000$ 本， $65,000$ 本， $80,000$ 本 $\text{ha}^{-1}$  の3処理を組み合わせ，1区6畦，畦長 $6\text{m}$ の要因試験を4反復で行った。播種と移植は帯広では3月25日と5月1日に，幕別では3月27日と5月8日に行い，生育調査を帯広では8月24日に，幕別では8月25日に各区から4株，4反復合計で16株を抜き取って行った。収穫は中央の4畦について帯広は10月22日に，幕別は24日に行った。施肥は無窒素化成肥料を共通に用い，窒素は所定量の30%を硝酸態窒素で，70%をアンモニア態窒素で単肥で調整し， $250\text{P}_2\text{O}_5\text{kg}$ ， $179\text{K}_2\text{Okg}$ ， $80\text{MgOkg}$ ， $6.4\text{B}_2\text{O}_3\text{kg}$ ， $10.3\text{MnOkg}$ ， $100\text{Na}_2\text{Okg}\text{ha}^{-1}$  を作条施肥した。

#### 結果

根重の最大値は，帯広では $160\text{kgNha}^{-1}$  の $65,000$ 本区で，幕別では $240\text{kgNha}^{-1}$  の $50,000$ 本区で得られた。糖含有率は栽植密度よりも窒素施肥の影響を大きく受けて，窒素施肥量が増えるほど糖含有率が低下した。糖集積量は $80\text{kgNha}^{-1}$  では帯広，幕別ともに $80,000$ 本区がやや高かったが， $160\text{kg}$ と $240\text{kgNha}^{-1}$  の場合には，褐色火山性土の帯広では $65,000$ 本区が，褐色低地土の幕別では $50,000$ 本区が高かった。8月に調査した葉面積指数(LAI)は帯広，幕別ともに $160\text{kgNha}^{-1}$  で最

大であった。両試験地とも糖含有率に及ぼす栽植密度の影響は施肥窒素より小さかった(第3-8図)。



第3-8図 窒素施肥量と栽植密度の組み合わせが

根重、糖含有率、糖集積量に及ぼす影響

## 考察

窒素施肥量が少ない場合には栽植密度が高い方が、窒素施肥量が多い場合には栽植密度が低い方が糖集積量が増加すると予測したところ、幕別の80kgNha<sup>-1</sup>以上の窒素処理と帯広の80kgNha<sup>-1</sup>以上の窒素処理と65,000本ha<sup>-1</sup>以上の栽植処理でその傾向を示した。

試験地の土壌の種類と最大糖集積量を示す栽植密度の関係では、土壌窒素の供給量が多く茎葉の生育が旺盛な褐色低地土の幕別の場合には、褐色火山性土の帯広に比べ糖集積量を最大にする栽植密度が低い傾向がみられた。

分散分析の結果、根重、糖含有率、茎葉重、糖集積量ともに場所と窒素施肥量に比較して栽植密度の影響が小さかった。糖集積量についてMarlander<sup>55,57)</sup>の分析手法により分散に対する変動因の寄与率を示す分散成分(%)を計算した結果、糖集積量に及ぼす栽植密度の寄与率は、施肥窒素に比べて小さいこと、施肥の栽植密度に及ぼす影響が場所で異なることを示した(第3-4表)。栽植密度50,000本、65,000本、80,000本ha<sup>-1</sup>の株間は各々33.3cm、25.6cm、20.8cmであり、狭い株間が茎葉競合を強め、光合成効率を落とし、同化産物の根への集積を低下させていると考えている。

第3-4表 分散分析結果

変動因	f	根重		糖含有率		茎葉重		糖集積量		
		MS	F	MS	F	MS	F	MS	F	CV(%)
場所(L)	1	101.3	31.5**	0.18	10.1*	252.2	36.8**	2.30	24.99**	19.9
施肥量(N)	3	379.2	118.1**	1.54	85.7**	822.8	120.2**	8.27	89.88**	51.9
栽植密度(S)	2	1.0	0.3	0.04	2.4	15.0	2.2	0.07	0.71	3.5
交互作用										
L×N	3	18.3	5.7*	0.15	8.2	22.5	3.3	0.79	8.56*	12.5
L×S	2	2.2	0.7	0.00	0.1	2.4	0.4	0.07	0.73	3.8
N×S	6	2.4	0.8	0.01	0.6	1.6	0.2	0.10	1.10	5.0
誤差	6	3.2		0.02		6.9		0.09		3.3

fは自由度、MSは平均平方、FはF値をCVは分散成分を示す。

\*,\*\*は5%と1%水準の有意性を表す。

## 実験II 品種および窒素施肥量と栽植密度に関する試験

これまで主流であった根重型品種と糖含有率が高い中間型品種について、窒素施肥量を変えて栽植密度が糖集積量に及ぼす影響を検討した。

### 実験方法

1984年に帯広市上清川と幕別町相川において、根重型「カーベメガモノ」、中間型系統「J137」、中間型「モノヒカリ」の3品種を用い、窒素施肥量が160kgと240kgNha<sup>-1</sup>の2処理、畦幅60cmのもとで栽植密度50,000本(株間33.3cm)と70,000本ha<sup>-1</sup>(株間23.8cm)の2処理を組み合わせ、1区5畦、畦長6mの要因試験を4反復で行った。播種と移植は帯広では3月22日と5月8日に、幕別では3月21日と5月12日に行い、収穫は5畦の中央3畦について帯広は10月18日に、幕別は10月27日に行った。窒素は所定量の37%を硝酸態窒素で、67%をアンモニア態窒素で単肥で調整し、共通施肥として220kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、150kgK<sub>2</sub>O、60kgMgO、6.4kgB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、15.4kgMnO、57kgNa<sub>2</sub>Oha<sup>-1</sup>を作条施肥した。

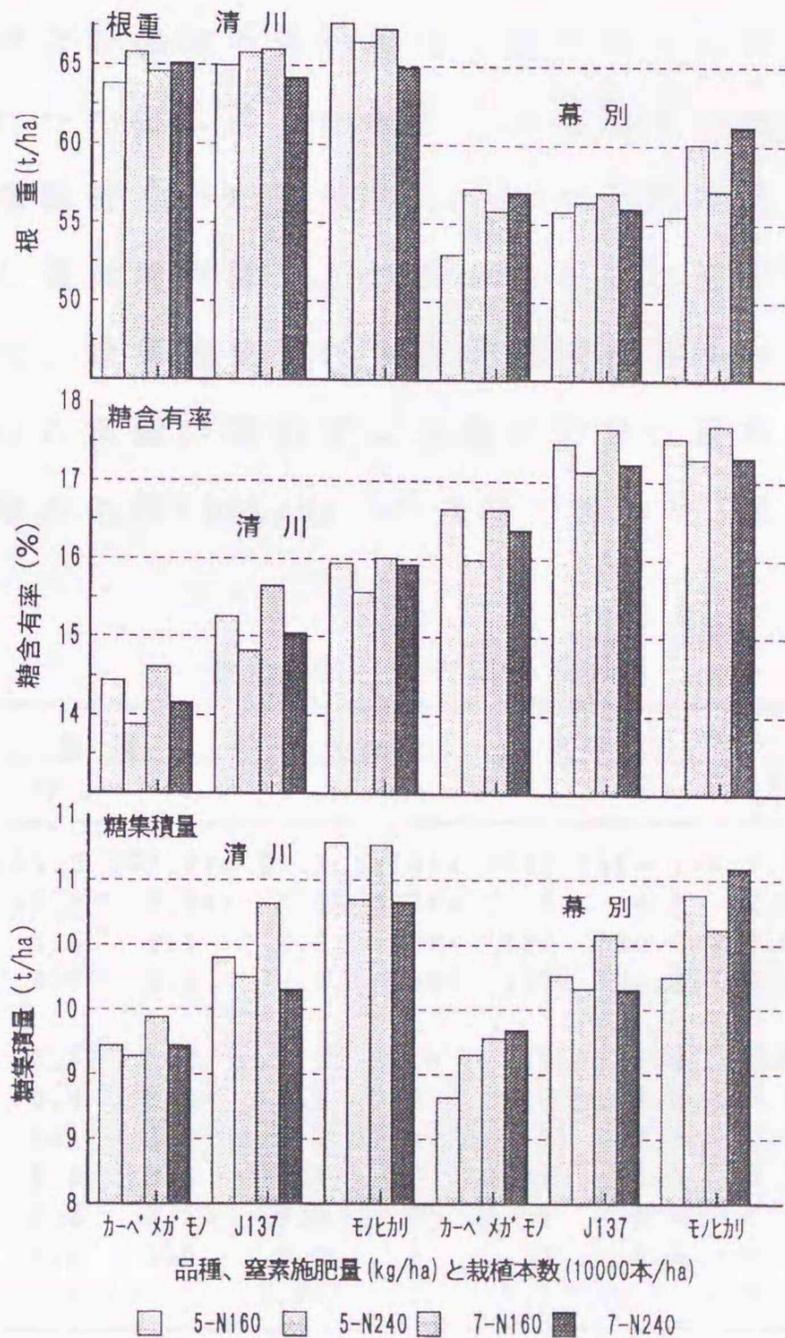
### 結果

窒素施肥量160kgNha<sup>-1</sup>の場合の「モノヒカリ」を除く他の2品種の根重は、50,000本区では70,000本区に比べてやや低下し、240kgNha<sup>-1</sup>の場合には「モノヒカリ」を除いて70,000本区で低下した(第3-9図)。「カーベメガモノ」の根重は窒素増肥で、とくに50,000本区で増加したが、「J137」では窒素増肥の効果がなかった。幕別の「モノヒカリ」の根重は両栽植密度ともに窒素増肥でかなり増加した。

240kgNha<sup>-1</sup>における糖含有率には品種間差がほとんどなかった。中間型品種の糖含有率に対する効果は大きく、それらの品種の窒素増肥80kgNha<sup>-1</sup>により低下した糖含有率より、根重型品種「カーベメガモノ」の160kgNha<sup>-1</sup>における糖含有率が両試験地とも明らかに低

かった。とくに低糖含有率であった帯広における「モノヒカリ」の糖含有率に対する効果は高かった。70,000本区の糖含有率は50,000本区よりいずれの品種でもやや高かったが、80kgNha<sup>-1</sup>の窒素減肥による糖含有率の上昇効果よりも小さかった。

糖集積量に対する品種の影響は明らかで、中間型品種とくに「モノヒカリ」の糖集積量は多かった。160kgNha<sup>-1</sup>では帯広の「モノヒカリ」を除いて50,000本区より70,000本区が増収したが、240kgNha<sup>-1</sup>では、「カーベメガモノ」では70,000本区がやや増収したが、「J137」では逆に減収した。



第3-9図 品種、窒素施肥量と栽植本数の組み合わせが

根重、糖含有率、糖集積量に及ぼす影響

## 考察

今回供試した3品種の場合、品種の糖集積量に対する影響は窒素施肥や栽植密度に比べ極めて大きかった。茎葉重には品種間差がなかったが、帯広の全処理区の平均茎葉重は $69\text{tha}^{-1}$ で、幕別の $38\text{tha}^{-1}$ に比べ大差があり、圃場の窒素供給量の差を示した。しかし、「カーベメガモノ」と「J137」2品種の窒素施肥と栽植密度に対する反応は、両試験地とも同じであった。2倍体の国産品種である「モノヒカリ」は、ドイツKWS社の倍数性品種「カーベメガモノ」、3倍体系統「J137」と異なる反応を示すことが多く、単純に地上部の競合では説明できない品種本来の特性の差が考えられた。

分散分析を行ったところ、根重では栽植密度の影響がなかったが、糖含有率では栽植密度の影響はあるものの品種に比べて小さかった。糖含有率に対し窒素増肥はマイナスに、栽植密度の増加は僅かにプラスに作用した。糖集積量では、各変動因の寄与率を示す分散成分でみると、今回の実験の範囲では品種の効果は栽植処理( $20,000\text{本ha}^{-1}$ )の6倍、窒素処理( $80\text{kg}\text{ha}^{-1}$ )の3倍であった(第3-5表)。

第3-5表 分散分析結果

変動因	f	根重		糖含有率		茎葉重		糖集積量		
		MS	F	MS	F	MS	F	MS	F	CV(%)
場所(L)	1	455.9	360.9**	23.5	2314**	5903	5495.1**	0.22	10.61**	13.3
品種(V)	2	11.2	8.9**	3.7	367**	5	4.2	2.82	136.69**	44.6
施肥量(N)	1	5.6	4.4	1.0	98**	129	120.0**	0.04	2.15	14.2
栽植密度(S)	1	0.5	0.4	0.2	23**	143	133.2**	0.19	9.01*	7.1
交互作用										
L×V	2	0.5	0.4	0.2	21*	18	3.3	0.04	1.79	4.1
L×N	1	10.4	8.2*	0.0	0	2	3.3	0.37	17.84**	9.7
L×S	1	3.1	2.4	0.0	2	8	3.3	0.04	0.30	3.8
V×N	2	2.8	2.3	0.0	2	17	3.3	0.10	4.64	5.7
V×S	2	0.2	0.2	0.0	0	1	0.4	0.01	0.29	3.3
N×S	1	4.5	3.6	0.0	1	8	0.2	0.09	4.14	4.6
誤差	14	1.3		0.01		1.1		0.02		3.1

fは自由度、MSは平均平方、FはF値をCVは分散成分、\*、\*\*は5%と1%水準の有意性を表す。3因子交互作用は誤差に含めた。

## 第6節 生育後期における茎葉の成長抑制が生育と糖集積量に及ぼす影響

移植テンサイの地上部の競合は、十勝地方についてみると、株間では6月中旬から、畦間では7月上旬から始まり、8月下旬の茎葉最大期を経て9月下旬まで続くことが多い。

成長調節剤の葉面散布により茎葉の成長を抑制することができる。この作用をもつマレイン酸ヒドラジドコリン塩(以下CMHと略記)の葉面散布がテンサイの成長、糖含有率と糖集積量に及ぼす影響を検討するため1979年以降一連の試験を実施した。

### 実験I マレイン酸ヒドラジドの葉面散布処理方法の検討

CMH(マレイン酸ヒドラジドコリン塩:有効成分39%)の葉面散布による糖含有率と糖集積量の向上を目的として散布濃度、散布時期と散布回数について検討した。

#### 実験方法

1985年に帯広市上清川町において、テンサイ用化成肥料S121を $1,450\text{kg/ha}^{-1}$ 作条施肥した $160\text{kgN/ha}^{-1}$ 区と、5月下旬に $80\text{kgN}$ を追肥して窒素を増肥した $240\text{kgN/ha}^{-1}$ 区の2つの窒素施肥処理のもとでCMHを葉面散布した。無処理区の他に(1)6,7,8,9月の各月上旬に $3.75\text{L/ha}^{-1}$ ずつ合計 $15.0\text{L/ha}^{-1}$ 散布,(2)7,8,9月に $2.50\text{L/ha}^{-1}$ の合計 $7.50\text{L/ha}^{-1}$ 散布,(3)8,9月に $3.75\text{L/ha}^{-1}$ の合計 $7.5\text{L/ha}^{-1}$ 散布,(4)9月に $7.5\text{L/ha}^{-1}$ を1回散布する4処理を設け、葉面散布は各薬量を $1,000\text{L/ha}^{-1}$ の水に希釈する割合で背負式防除機で行った。試験は品は「モノエース」、紙筒播種は3月22日、移植は5月2日で、試験は1区4畦、畦長6mの乱塊法5反復で行い、10月28日に4畦の中央2畦について収穫した。

## 結果

収穫調査結果は、窒素処理の影響が同じであったことから調査結果を窒素施肥量を込みにして示す(第3-6表)。なお、6月のCMHの葉面散布は著しい茎葉の成長抑制を示したので1回散布のみにした。しかし、この1回の散布でも茎葉重、根重、糖含有率が著しく低下した。8月と9月上旬の各3.75Lha<sup>-1</sup>処理区は無処理に比べ糖含有率

第3-6表 CMHの葉面散布処理が収穫時期の収量と品質に及ぼす影響

散 回数	布 時期	散布量 ml/ha	茎葉重		根重		糖含有率		糖集積量		アミノ態N	
			t/ha	%	t/ha	%	%	%	t/ha	%	meq	%
1	6/14*	3,750	40.4	69	42.0	78	15.00	94	6.27	73	2.49	112
3	6/14,7/17,8/8	2,500(各)	46.9	80	52.7	98	15.80	99	8.25	96	2.66	120
2	8/8,9/10	3,750(各)	49.8	85	55.4	103	16.60	104	9.19	107	2.93	132
1	9/10	750	53.9	92	54.9	102	16.44	103	9.02	105	2.64	119
	無散布		58.6	100	53.8	100	15.96	100	8.59	100	2.22	100

\*当初4回散布の計画であったが、生育抑制が強く1回散布とした。

が4%、糖集積量が7%それぞれ増加した。9月上旬の1回処理区の糖集積量も5%増加した。茎葉重は処理時期が早いほど低下し、菜根中のアミノ態窒素含有率はCMHのいずれの処理でも上昇した。

## 考察

今回の実験でCMHの葉面散布処理による茎葉の成長抑制効果は、生育時期によって著しく異なり、6月、7月の茎葉展開期の散布は抑制効果が著しく、糖集積量を低下させた。茎葉の成長量がほぼ最大に達する8月上旬以降に、比較的低濃度のCMHを葉面散布する方法が糖含有率と糖集積量の向上のために有効である。CMHの葉面散布処理により菜根中のアミノ態窒素含有率が上昇したが、蛋白質合成が抑制されていることを示唆している。

マレイン酸ヒドラジドに対するテンサイの生理的な作用については、Wortand<sup>84)</sup>らは葉面散布により茎葉の成長が抑制され、根部のスクロース合成酵素が増加し、硝酸還元酵素が減少し、呼吸量が減少すると報告している。

## 実験 II 現地圃場における葉面散布試験

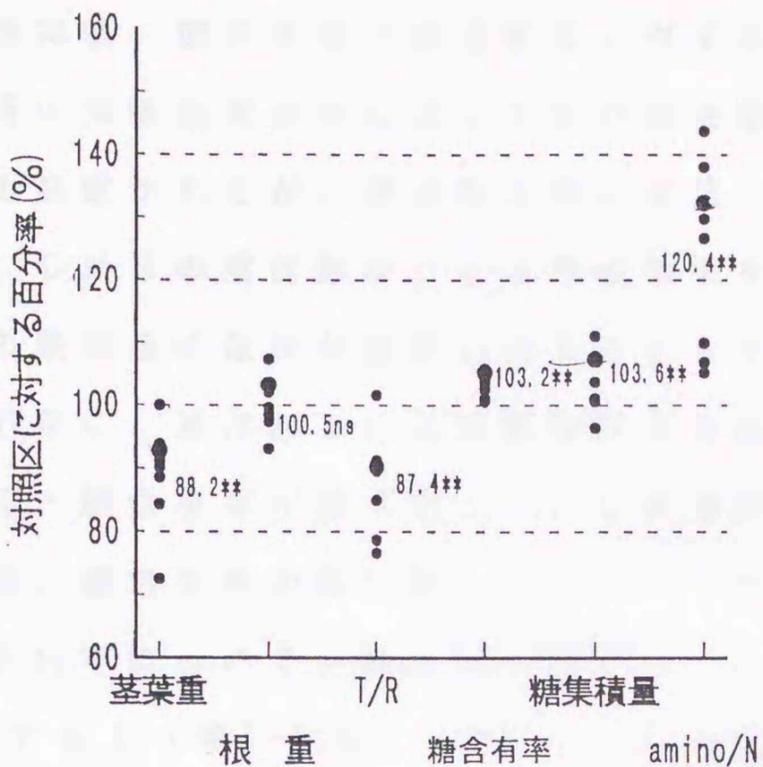
実験 I の試験結果をもとに C M H の葉面散布方法として、8月と9月上旬に各  $4.0\text{Lha}^{-1}$  葉面散布することにし、1987年から1990年に、十勝地方の10カ所の一般畑で現地試験を行った。

### 実験方法

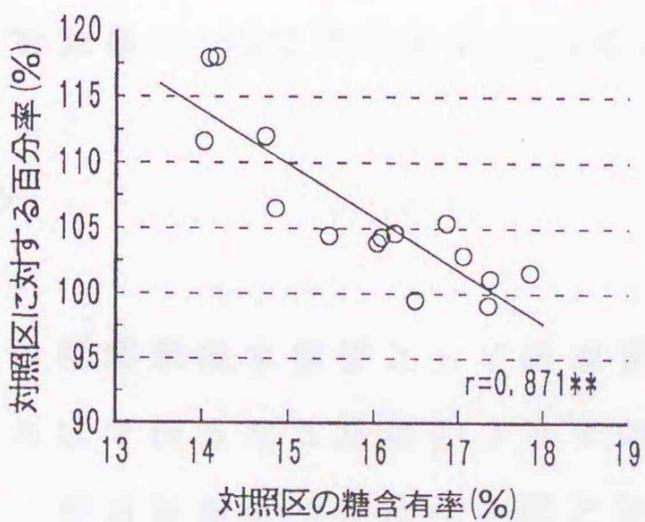
紙筒移植栽培をしている一般農家のテンサイ畑において、C M H 処理と対照無処理の2処理について、8月上旬にテンサイの生育が斉一な部分に、1区4畦、畦長6mの3反復試験区を設けた。8月中旬と9月上旬の2回、各々 C M H を  $4.0\text{Lha}^{-1}$  を  $1,000\text{Lha}^{-1}$  の水で希釈する割合で、背負式防除機で葉面散布した。品種の他、耕種管理は全て各農家の慣行栽培法によった。収穫は10月上旬に、中央の2畦について行った。

### 結果

茎葉重、根重、T R 比、糖含有率、糖集積量とアミノ態窒素含有率の6つの調査項目について、10カ所の各試験地毎に無処理区に対する(図中の100%は無処理区の水準である) C M H 処理区の相対値(%)をそれぞれ点として表し、一括して図示した(第3-10図)。C M H の葉面散布により茎葉重と T R 比は低下し、糖含有率、糖集積量とアミノ態窒素含有率が上昇した。根重には差がなかった。



第3-10図 生育後期におけるCMHの葉面散布が  
 テンサイの茎葉重、糖含有率、糖集積量に及ぼす影響  
 無散布区に対するCMH処理の相対値(%)  
 10の現地試験結果を点で表す。



第3-11図 連作、短期輪作畑における生育後期の  
 CMHがテンサイの糖含有率に及ぼす影響

15の現地試験による。

## 考察

栽培条件が多様である現地試験においても，実験 I と同様の C M H の茎葉の成長抑制，糖含有率と糖集積量に対する散布効果が認められた。10ヶ所の実験結果の中には C M H の葉面散布により糖集積量が減っている試験があるが，葉面散布時に茎葉の量が少ない場合に生じていた。C M H の葉面散布による増糖効果を発現させるためには一定以上の葉面積の保持が前提となることを示唆している。

著者らは1982年に，連作あるいは短期輪作のために茎葉の畑地への還元量が多く，糖含有率が低くなっている東藻琴村で品質改善試験を行なった際，糖含有率の低い畑において C M H の葉面散布試験を行った。糖含有率について、無処理に対する C M H 処理の相対値 (%) を引用図示すると (第3-11図)，連作を含む短期輪作による富栄養化のために，茎葉が過繁茂状態にある<sup>34)</sup>条件で，低い糖含有率のテンサイほど C M H の散布効果が高く出ている。

C M H の散布は農家が期待する糖含有率向上と薬剤処理費用とのバランスをみて決めている。糖含有率の年次変動は糖含有率の高い品種が育成，導入されている現在でも大きくなる年があり，C M H の葉面散布は当年できる即応技術として有用であり，1991年には全道のテンサイ栽培面積の11%で使用されている。

## 第7節 まとめ

地上部の競合の程度を表す指標として最適葉面積指数の考え方がある。黒沢<sup>47)</sup>は帯広で行った3品種，3ヶ年の移植テンサイの生育解析の結果から，最適葉面積指数は年次間と品種間差はあるものの3から4の範囲であったと報告している。Fickら<sup>8)</sup>は米国の圃場調査資料を元に，葉面積の関数として葉部における純同化率(NAR)

を試算しているが、正味同化率は葉面積指数3から4でほぼ限界となっている。Scottら<sup>73)</sup>は英国の圃場調査から、葉面積指数と受光率の関係は、葉面積指数3あるいは4で85%から95%の受光率に達すると報告している。これらの報告からみてテンサイの最適葉面積指数は3から4の間にあると考えられる。

葉面積指数を早く3程度になるようにテンサイを成長させ、それ以降は地上部の競合を起こさない葉面積指数4程度に収穫期まで推移させるのが望ましい。栽植密度を高くすることにより容易に早期に葉面積を3程度にすることができるが、本章1節で述べた砂耕との礫耕試験が示すように、その後の地上部の競合が避けられず、受光率の低下と根部への糖を主体とする光合成産物の分配が低下することとなる。

著者らが調査した十勝、網走、上川、空知地方の範囲では、テンサイ地上部の生育量がそれぞれ異なっており、十勝地方では地上部の生育が旺盛で過繁茂になりやすく、上川、空知地方では気象および土壌条件のために地上部の生育が少ない傾向がある<sup>32,33)</sup>。その差異の原因としては有効土層、土壌窒素、土壌水分保持容量や日射量の相違などが考えられる。相対的にみて、十勝地方に分布する主要土壌は火山性土のため土層が厚く、土壌窒素が多く、土壌水分保持量が多い。一方日射量については、十勝地方は他の地域に比べて6、7、8月の日射量が上川、空知地方の90%、網走地方の86%と少ない。これらの要因のために十勝地方では生育後期に地上部の競合が大きくなり、菜根に集積するはずであった糖の損失が起こると考えられる。

栽植様式としては、方形植(37.8cm)の70,000本 $\text{ha}^{-1}$ が著しく高い糖集積量を示したが、その他の栽植様式の影響は明瞭でなかった。その理由は、生育後期には株間および畦間にける地上部の競合が強くなり、根部への糖の分配が低下するため、とくに根重に対する栽

植様式の影響が小さくなるためと考えている。

地上部の成長速度と生育量は気温の影響を最も強く受けるため、地上部の光に対する競合の開始時期には年次間差があるが、地上部の競合が激しく、葉面積指数が通常5以上に及ぶ期間が長い十勝地方の様な地域では、競合が起こりにくいよう株間を広げて栽植密度を減らし、葉面積指数が3以下の上川地方<sup>32)</sup>の丘陵地域では、畦幅を狭めて栽植密度を増やすことが、光合成で獲得した糖の損失と、葉面積を増やし、受光率を高め糖集積量を向上させるために必要な栽植法である。

## 第4章 窒素肥培管理法

移植テンサイは第3章で述べたように、栽植様式が斉一で、移植後の多様な障害に抵抗力が強いため、移植苗はほとんど収穫個体となっており、欠株が生じた場合も補償力が高い。一方、狭い株間では個体間競合が早い時期から生じるために、隣接株の競合に負けて製糖原料とならない小さな菜根になる場合がある。また第5章で述べるように移植テンサイの本畑リン酸施肥の効果は低く、加里の土壌集積量も現在多いことから、窒素管理はテンサイ肥培法の中心になる。そこで、糖含有率と糖集積量を高める窒素肥培管理に関する一連の試験を行った。

### 第1節 無窒素栽培による窒素肥沃度の評価

個別畑の窒素施肥方法としては、畑土壌の窒素供給量を知り、テンサイが必要とする量の不足分を化学肥料で施肥するのが基本である。この窒素供給量を求める方法として土壌窒素の分析による方法、当該作物を無窒素で栽培し、作物の窒素吸収量から求める方法がある。本研究では後者の方法を採用し、土壌の窒素供給量を検討した。

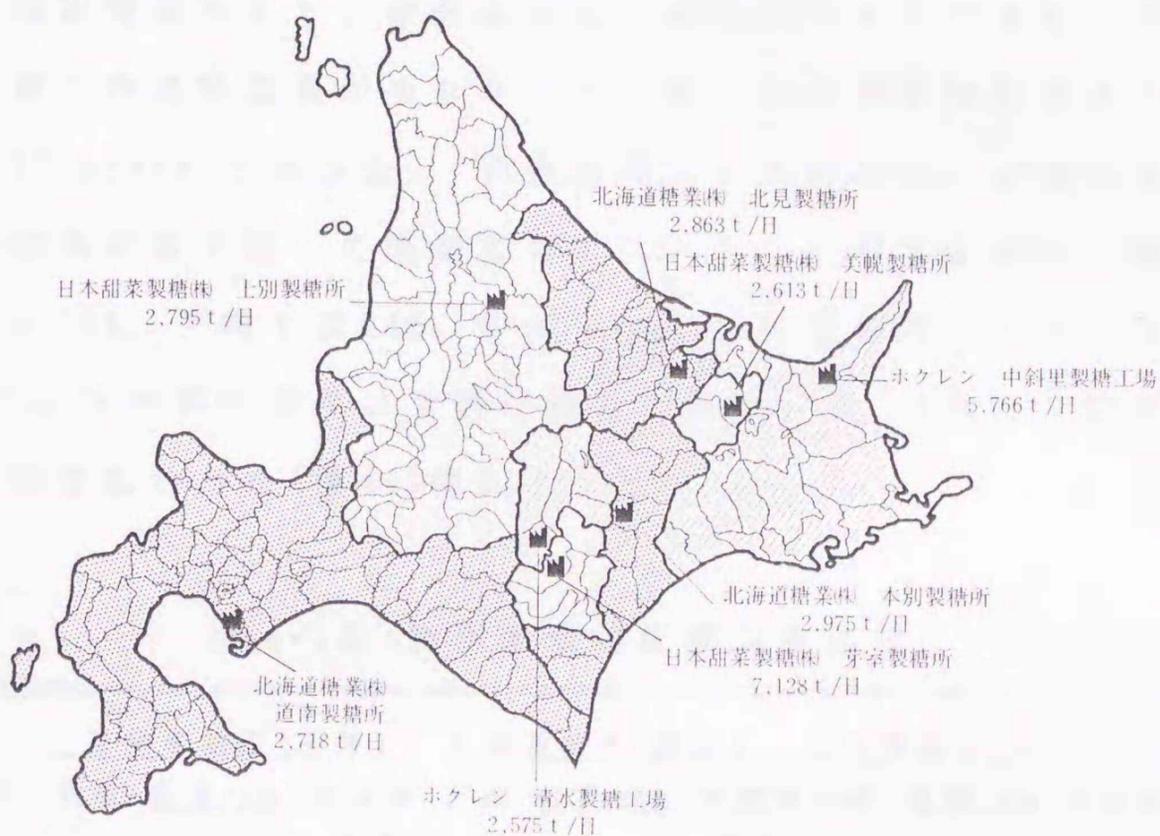
窒素成分以外はテンサイ用肥料とほぼ同じ成分の無窒素化成肥料を造り、リン酸を農家慣行量に合わせて施肥をして無窒素栽培を行い、慣行窒素施肥区の根重に対する無窒素区の根重割合を無窒素根重指数と定義して現地試験を行い、地域別の無窒素根重指数と、これらの調査結果を窒素施肥診断に応用する方法を検討した。

#### 実験 I 窒素施肥診断のための無窒素栽培試験

##### 実験方法

1978年から1981年までの4年間、日本甜菜製糖株式会社の集荷区

域のテンサイ栽培農家から1%を無作為に抽出し，移植時に農家が慣行施肥を行う際に，8畦，畦長15mの無施肥部分を設け，そこへ無窒素化成肥料をリン酸を農家慣行量に合わせて施肥後に慣行と同じ苗を移植し，収穫期まで同じ耕種管理で生育させた。無窒素化成の組成%は $P_2O_5$ 15%， $K_2O$ 10%， $MgO$ 5%， $B_2O_3$ 0.3%， $Na_2O$ 4.5%である。収穫は10月上旬に慣行と無窒素区各々4畦，畦長6.0mについて行った。1979年と1980年には，茎葉最盛期の9月上旬に各区から7株を採取り，部位別の窒素吸収量を窒素分析により求めた。



第4-1図 北海道各社別原料テンサイ集荷区域

### 結果

芽室，美幌，士別の3製糖所が集荷対象とする地域を芽室地域，美幌地域，士別地域と呼称することとし，それぞれの地域を図示した(第4-1図)。地力保全調査資料によれば，芽室地域を構成する土壌の面積割合は火山性土が63%，褐色・灰色森林土が7%，低地土が28%，泥炭土が2%であり，美幌地域は火山性土が39%，褐色・灰色森林土が34%，低地土が22%，泥炭土が5%であり，士別地域は火山性土

が4%，褐色・灰色森林土が67%，低地土が19%，泥炭土が9%であり，地域により土壤に明らかな差異がある。

4ヶ年の現地試験の結果，慣行窒素施肥区(+N)に対する無窒素区(-N)の根重の相対値(%)は，平均で芽室では82%，美幌では78%，士別では73%と地域間差があり，芽室の無窒素根重指数が高かった(第4-1表)。1979年と1980年に実施した9月の抜取り調査と窒素吸収量調査において，士別のTR比は慣行の窒素施肥の場合でも低く，芽室と美幌における無窒素栽培の水準であった(第4-2表)。窒素吸収量には地域間差があり，窒素施肥区，無窒素区ともに芽室，美幌，士別の順に窒素吸収量が少なかった。慣行区の窒素施肥量は3地域とも約200kgNha<sup>-1</sup>であった。窒素施肥区と無窒素区の窒素吸収量の差を窒素施肥量で除して施肥窒素の見かけの利用率を求めた結果，芽室では93%，美幌では84%，士別では63%と地域間差があった。茎葉1t当たり窒素吸収量は士別が高かったが，根1t当たり窒素吸収量は士別は低かった(第4-3表)。

第4-1表 無窒素栽培収穫調査結果

年	芽室製糖所(十勝)				美幌製糖所(網走)				士別製糖所(空知、上川)			
	戸数	根重tha <sup>-1</sup>		無窒素根重%	戸数	根重tha <sup>-1</sup>		無窒素根重%	戸数	根重tha <sup>-1</sup>		無窒素根重%
		+N	-N			+N	-N			+N	-N	
1978	46	56.2	47.8	85	19	66.6	51.9	78	38	51.6	37.7	73
1979	45	62.5	51.9	83	19	61.8	53.8	87	40	58.7	44.0	75
1980	38	55.2	42.5	77	18	61.1	46.4	76	35	58.1	39.5	68
1981	35	49.3	39.4	80	18	52.4	36.7	70	37	53.1	39.3	74
平均	164	56.2	46.1	82	74	60.6	47.3	78	150	55.4	40.4	73

第4-2表 抜取り調査と窒素(N)吸収量調査結果

製糖所	根 重			T / R			N 吸収量			N 施肥量 kg ha <sup>-1</sup>	N 利 用率 %	
	戸数	tha <sup>-1</sup>		-N/+N		-N/+N	kg ha <sup>-1</sup>					
		+N	-N	× 100	+N		-N	× 100	+N			-N
芽室	80	56.0	45.9	82	0.91	0.66	73	337	143	194	208	93
美幌	37	57.4	44.8	78	0.87	0.66	76	287	126	161	191	84
士別	77	56.2	41.6	74	0.64	0.47	73	235	110	125	199	63

第4-3表 新鮮重1t当たりの  
窒素(N)吸収量(kgt<sup>-1</sup>)

製糖所	戸数	茎 葉			根		
		kgt <sup>-1</sup> FM		-N/+N	kgt <sup>-1</sup> FM		-N/+N
		+N	-N		× 100	+N	
芽室	80	3.74	2.78	74	2.13	1.14	54
美幌	37	3.60	2.75	76	1.73	0.97	56
士別	77	4.43	3.29	74	1.61	1.16	72

### 考察

本実験から得られた製糖所(十勝, 網走, 上川・空知)別の慣行窒素施肥区と無窒素区それぞれの根重tha<sup>-1</sup>, T R比, 茎葉1t当たりの窒素吸収量kgt<sup>-1</sup>, 根部1t当たりの窒素吸収量kgt<sup>-1</sup>を使って無窒素栽培を行った畑の窒素施肥診断を行う方法を検討した。方法としては, 戸別の慣行窒素施肥区と無窒素区の根重tha<sup>-1</sup>のみを実測値とし, 第4-2表に示す地域別のT R比を乗じて両区の茎葉重tha<sup>-1</sup>を推定し, 茎葉と根の新鮮重1t当たりの窒素吸収量を乗じて両区の総窒素吸収量kgNha<sup>-1</sup>を求めると, 両区の窒素吸収量の差は施肥窒素由来の窒素吸収量kgNha<sup>-1</sup>である。本実験から求めた施肥窒素の利用率は芽室は93%, 美幌は84%, 士別は63%であった。しかし本実験方法では, 窒素施肥をすることにより吸収根の生育領域が無窒素区より広くなり窒素吸収量が増える, いわゆる施肥効果を含んだ見かけの利用率

と考へて、施肥効率を、西宗ら<sup>70,71)</sup>が十勝で行った窒素利用効率試験で明らかにした施肥窒素の利用率80%を参考にして20%とみなし、窒素施肥診断法を組み立てた。例示すれば、慣行窒素施肥区の根重が60tha<sup>-1</sup>で、無窒素区根重指数が80%の場合、芽室(表A1)、美幌(表A2)、士別(表A3)地域の順に施肥由来の推定窒素量として120kg、100kg、80kgNha<sup>-1</sup>を得る。これを3地域別の施肥窒素の利用率75%、60%、45%でそれぞれ除すことにより(表B)、適正窒素施肥量として160kg、167kg、178kgNha<sup>-1</sup>を求め、慣行の窒素施肥量がこれより多ければ施肥量を減らし、少なければ施肥量を増やす窒素施肥診断法である。

A1: 施肥由来の窒素吸収量(Nkgha<sup>-1</sup>) (芽室製糖所)

根重 tha <sup>-1</sup>	無窒素根重指数(%)												
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
90	290	280	260	250	240	220	210	200	180	170	160	140	130
85	280	260	250	240	220	210	200	190	170	160	150	140	120
80	260	250	240	220	210	200	190	180	160	150	140	130	120
75	240	230	220	210	200	190	180	160	150	140	130	120	110
70	230	220	210	200	180	170	160	150	140	130	120	110	100
65	210	200	190	180	170	160	150	140	130	120	110	100	90
60	190	190	180	170	160	150	140	130	120	110	110	100	90
55	180	170	160	150	150	140	130	120	110	100	100	90	80
50	160	150	150	140	130	120	120	110	100	90	90	80	70
45	150	140	130	130	120	110	110	100	90	90	80	70	70
40	130	120	120	110	110	100	90	90	80	80	70	60	60
35	110	110	100	100	90	90	80	80	70	70	60	60	50

A 2 : 施肥由来の窒素吸収量 (Nkg ha<sup>-1</sup>) (美幌製糖所)

根重 tha <sup>-1</sup>	無窒素根重指数 (%)												
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
90	250	240	220	210	200	190	170	160	150	140	120	110	100
85	240	220	210	200	190	180	160	150	140	130	120	110	90
80	220	210	200	190	180	170	150	140	130	120	110	100	90
75	210	200	190	180	170	160	150	130	120	110	100	90	80
70	190	180	170	160	150	150	140	130	120	110	100	90	80
65	180	170	160	150	140	130	130	120	110	100	90	80	70
60	170	160	150	140	130	120	120	110	100	90	80	70	70
55	150	140	140	130	120	110	110	100	90	80	80	70	60
50	140	130	120	120	110	100	100	90	80	80	70	60	50
45	120	120	110	110	100	90	90	80	70	70	60	60	50
40	110	110	100	90	90	80	80	70	70	60	60	50	40
35	100	90	90	80	80	70	70	60	60	50	50	40	40

A 3 : 施肥由来の窒素吸収量 (Nkg ha<sup>-1</sup>) (士別製糖所)

根重 tha <sup>-1</sup>	無窒素根重指数 (%)												
	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
90	220	210	200	190	170	160	150	140	130	110	100	90	80
85	210	200	190	180	160	150	140	130	120	110	100	80	70
80	200	190	180	170	150	140	130	120	110	100	90	80	70
75	190	180	170	160	150	130	120	110	100	90	80	70	60
70	170	160	150	140	140	130	120	110	100	90	80	70	60
65	160	150	140	130	130	120	110	100	90	80	70	60	60
60	150	140	130	120	120	110	100	90	80	80	70	60	50
55	140	130	120	110	110	100	90	80	80	70	60	50	50
50	120	120	110	100	90	80	80	70	60	60	60	50	40
45	110	110	100	90	90	80	70	70	60	60	50	40	40
40	100	90	90	80	80	70	70	60	60	50	40	40	30
35	90	80	80	70	70	60	60	50	50	40	40	30	30

B:地域別の施肥窒素の利用率を基礎とした目標窒素施肥量 (N kgha<sup>-1</sup>)

窒素吸収量 N kgha	目標窒素施肥量 (N kgha <sup>-1</sup> )																窒素 利用率	
	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250		260
250	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	96
240	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	96 92
230	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	96 92 88	
220	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	96	92 88 85		
210	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	95	91 88 84 81	芽室		
200	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	95	91 87 83 80 77	(75%)			
190	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	95	90 86 83 79 76	73					
180	*	*	*	*	*	*	*	*	*	95	90 86 82 78 75	72 69						
170	*	*	*	*	*	*	*	94	89 85 81 77 74	71 68 65								
160	*	*	*	*	*	*	94	89 84 80 76 73	70 67 64 62	美幌								
150	*	*	*	*	*	94	88 83 79 75 71	68 65 63 60 58	(60%)									
140	*	*	*	*	93	88 82 78 74 70	67 64 61 58 56 54											
130	*	*	*	93	87 81 76 72 68 65 62 59 57 54 52 50													
120	*	*	92	86 80 75 71 67 63 60 57 55 52 50 48 46	士別													
110	*	92	85 79 73 69 65 61 58 55 52 50 48 46 44 42	(45%)														
100	91	83 77 71 67 63 59 56 53 50 48 45 43 42 40 38																
90	82 75 69 64 60 56 53 50 47 45 43 41 39 38 36 35																	
80	80 73 67 62 57 53 50 47 44 42 40 38 36 35 33 32 31																	
70	70 64 58 54 50 47 44 41 39 37 35 33 32 30 29 28 27																	
60	60 55 50 46 43 40 38 35 33 32 30 29 27 26 25 24 23																	
50	50 45 42 39 36 33 31 29 28 26 25 24 23 22 21 20 19																	

## 実験 II 窒素施肥診断の普及のための無窒素栽培試験

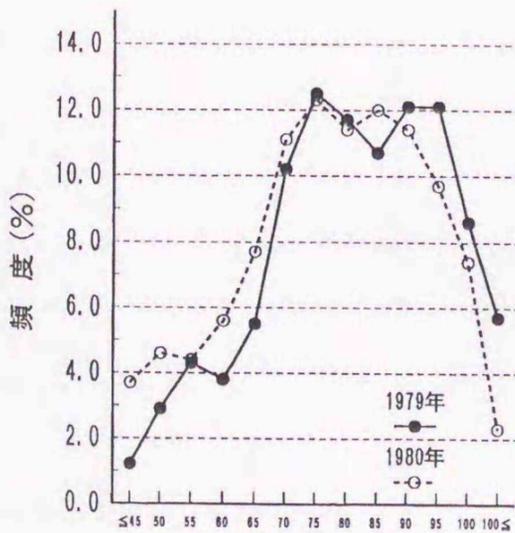
### 実験方法

実験 I で組み立てた無窒素根重指数をもとにした窒素施肥診断を広く試行するために、1979年と1980年の2ヶ年、実験 I と同じ無窒素化成肥料を使い、芽室製糖所（以下芽室と略す）の地域は1979年395戸、1980年202戸の計597戸、美幌製糖所（以下美幌と略す）の地域は1979年120戸、1980年122戸の計242戸、士別製糖所（以下士別と略す）の地域は1979年466戸、1980年265戸の計731戸の総計1570戸で無窒素栽培試験を行った。

### 結果

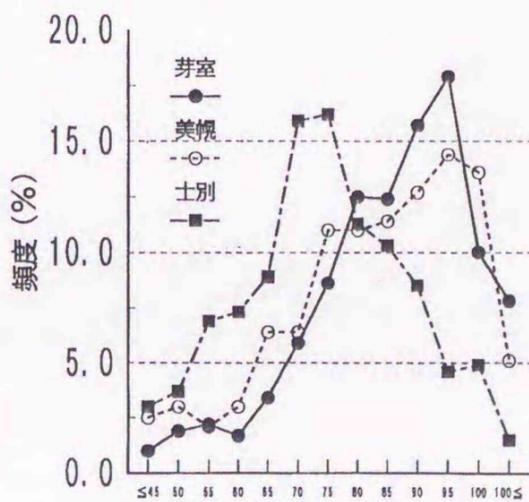
1979年と1980年に調査した無窒素根重指数の度数分布には年次間差はほとんどなかった（第4-2図）。2年の結果をまとめた製糖所別の無窒素根重指数の度数分布は、士別は他の地域に比べ明らかに無窒素根重指数の低い畑が多かった（第4-3図）。

堆厩肥の有無と無窒素根重指数の関係で（第4-7表）、堆厩肥の施用戶数割合は、芽室は43%、美幌は51%、士別は30%で士別の割合が少なく、堆厩肥の平均施用量は約 $30\text{tha}^{-1}$ であった。堆厩肥の施用により無窒素区の根重が芽室では1.2%、美幌では2.5%、士別では9.8%増加した。美幌と士別では窒素施用区の根重もやや増加した。



第4-2図 無窒素根重指数の年次間差

(1979:979戸、1980年:568戸)



第4-3図 無窒素根重指数の地域間差

(芽室591戸、美幌230戸、士別710戸)

土壌の種類と無窒素根重指数の関係では(第4-8表), 3地域とも低地土の無窒素根重指数は他の土壌より高く, 芽室は89%, 美幌は83%, 士別は75%であった。

前作物と無窒素根重指数では(第4-9表), 根重指数の高い順に芽室では, 豆類>トウモロコシ類>バレイシヨ=麦類, 美幌では, テンサイ>トウモロコシ類>豆類=バレイシヨ>麦類, 士別では, テンサイ=トウモロコシ類>豆類>バレイシヨ>麦類となり, 3製糖所区域ともに類似の傾向があり, 前作物が無窒素根重指数に影響を及ぼしていた。

第4-7表 堆厩肥の有無が無窒素根重指数に及ぼす影響

製糖所 区域	堆厩肥 施用	戸数	N施肥量 kg ha <sup>-1</sup>	根重 tha <sup>-1</sup>			茎葉重 tha <sup>-1</sup>		
				+N	-N	指数%	+N	-N	指数%
芽室	有	254	210	62.4	52.5	84	55.8	36.5	64
	無	343	210	62.7	51.9	83	56.3	33.8	60
美幌	有	123	190	60.8	48.9	81	55.0	37.6	67
	無	119	190	59.4	47.7	81	52.2	35.8	70
士別	有	216	200	58.0	43.5	75	40.0	25.9	65
	無	515	210	55.8	39.6	71	37.4	22.9	64

第4-8表 土壌の種類が無窒素根重指数に及ぼす影響

製糖所 区域	土壌	戸数	N施肥量 kg ha <sup>-1</sup>	根重 tha <sup>-1</sup>			茎葉重 tha <sup>-1</sup>		
				+N	-N	指数%	+N	-N	指数%
芽室	火山性土	530	210	62.0	52.5	83	55.8	36.5	64
	低地土	65	180	67.5	51.9	89	56.3	33.8	60
美幌	火山性土	107	200	59.8	48.9	79	55.0	37.6	67
	低地土	52	190	61.8	47.7	83	52.2	35.8	70
	褐色森林土	65	190	59.3	47.7	80	52.2	35.8	70
士別	低地土	268	200	58.3	43.5	75	40.0	25.9	65
	褐色森林土	433	220	54.6	39.6	71	37.4	22.9	64

第4-9表 前作物の種類が無窒素根重指数に及ぼす影響

製糖所 区域	前作物	戸数	N肥量 kg ha <sup>-1</sup>	根重 tha <sup>-1</sup>			茎葉重 tha <sup>-1</sup>		
				+N	-N	指数%	+N	-N	指数%
芽室	豆類	268	210	63.4	53.5	84	56.2	36.4	64
	ハレイショ	156	220	60.8	49.6	82	56.2	33.6	60
	ムギ類	88	210	62.9	51.4	82	54.6	35.3	65
	トウモロコシ類	53	200	61.2	51.2	84	57.1	33.8	59
美幌	テンサイ	26	190	60.3	51.0	84	57.2	41.4	73
	豆類	39	180	62.3	49.3	80	52.5	36.6	70
	ハレイショ	87	200	59.5	47.3	80	53.9	35.4	65
	ムギ類	60	190	60.2	46.7	78	52.4	33.2	63
	トウモロコシ類	20	180	56.8	47.3	84	56.6	42.1	75
士別	テンサイ	145	210	60.3	44.9	75	39.9	25.5	64
	豆類	229	200	55.3	39.5	71	37.7	23.3	65
	ハレイショ	155	200	55.6	39.3	71	37.6	22.7	60
	ムギ類	43	200	54.4	36.2	67	34.6	20.9	64
	トウモロコシ類	41	200	51.9	38.8	75	37.5	25.1	67

## 考察

土別地域の無窒素根重指数，すなわち窒素肥沃度は明らかに低かったが，その理由としては，傾斜地の褐色森林土が多く土壌窒素が少ないこと，表土が薄く土壌水分容量が小さく，しばしば土壌水分が生育の制限因子になることなどが挙げられる。土別は本章第2節の試験結果からも施肥窒素の依存度が高い地域であることが明らかとなっている。

土壌の種類，堆厩肥の有無，前作物の種類により，無窒素根重指数は影響を受けており，前作物では茎葉の鋤込み量が多い作物で根重指数が高く，炭素量の多い麦類で無窒素根重指数が低い傾向があり，とくに土別地域で明瞭であった。無窒素根重指数はこれらの耕作条件の影響を総合的に包含しており，同一農家の他圃場，同じ地域の類似の耕作条件をもつ農家圃場の窒素施肥診断にも手がかりを与えるものである。1980年から糖分取引が始まる1986年までの約7年間，約2,000戸で実施した無窒素栽培資料を使い適正窒素施肥診断を行った。

紙筒移植栽培では育苗土壌に窒素 $1.0\text{kgNha}^{-1}$ を育苗肥料として施肥していることから，本試験における無窒素根重指数は本畑における窒素無施肥を前提にしている。日本甜菜製糖<sup>68)</sup>は育苗中の施肥窒素が本畑無窒素の根重に及ぼす影響を調査している。育苗土に標準量である窒素 $1.0\text{kgNha}^{-1}$ を施肥せずに育苗し，本畑で無窒素栽培した場合の根重は，育苗中に窒素を施肥し，本畑で無窒素栽培した場合に比べ9%減収した。育苗期間中最適量の窒素維持するは紙筒育苗方法は，本畑における無窒素区の根重水準を引き上げており，移植栽培の特徴の一つで、テンサイの栽培適地拡大に寄与していると考えている。

## 第2節 地域別適正窒素施肥量の解明

十勝地方の帯広市と幕別町，網走地方の美幌町，上川地方の士別市の4ヶ所で，延べ11年にわたり，テンサイの施肥窒素に対する反応について2つの試験を行った。

### 実験Ⅰ 過剰な施肥量を含む窒素施肥試験

#### 実験方法

施肥窒素がテンサイの生育と根重に及ぼす影響を調査するため，1980年から1982年の3ヶ年，帯広市，幕別町，美幌町，士別市で採取試験を行った。窒素施肥量0kg，100kg，200kg，300kgNha<sup>-1</sup>の4処理を設けて，6月中旬，7月上旬，8月下旬，10月上旬の4回採取調査を行った。耕種概況を第4-8表と4-9表に示す。品種はいずれも「カーベメガモノ」である。施肥処理は第1節の試験で記載の無窒素化成肥料を共通肥料とし、窒素は30%を硝酸態窒素，70%をアンモニア態窒素として硫酸アンモニウム，尿素，硝酸アンモニウムで調整し，作条施肥した。施肥処理以外は慣行管理を行った。試験は1区6畦，畦長5.4m、畦幅は全試験地とも60cm，株間を24cmとし，栽植密度69,400本ha<sup>-1</sup>で，ラテン方格法4反復で実施した。採取は中央の4畦から，1回1区20本，4反復合計で80本を採取し常法で調査した。

第4-10表 紙筒播種日および移植日

実施 場所	土 壌	紙筒播種月/日			移植月/日		
		1980	1981	1982	1980	1981	1982
帯 広	火山性土	3/25	3/25	3/23	5/ 1	5/ 6	5/ 5
幕 別	褐色低地土	3/27	3/27	3/25	5/ 8	5/11	5/10
美 幌	褐色森林土	3/17	3/26	3/23	5/14	5/14	5/12
士 別	褐色森林土	3/28	3/25	3/26	5/ 8	5/20	5/15

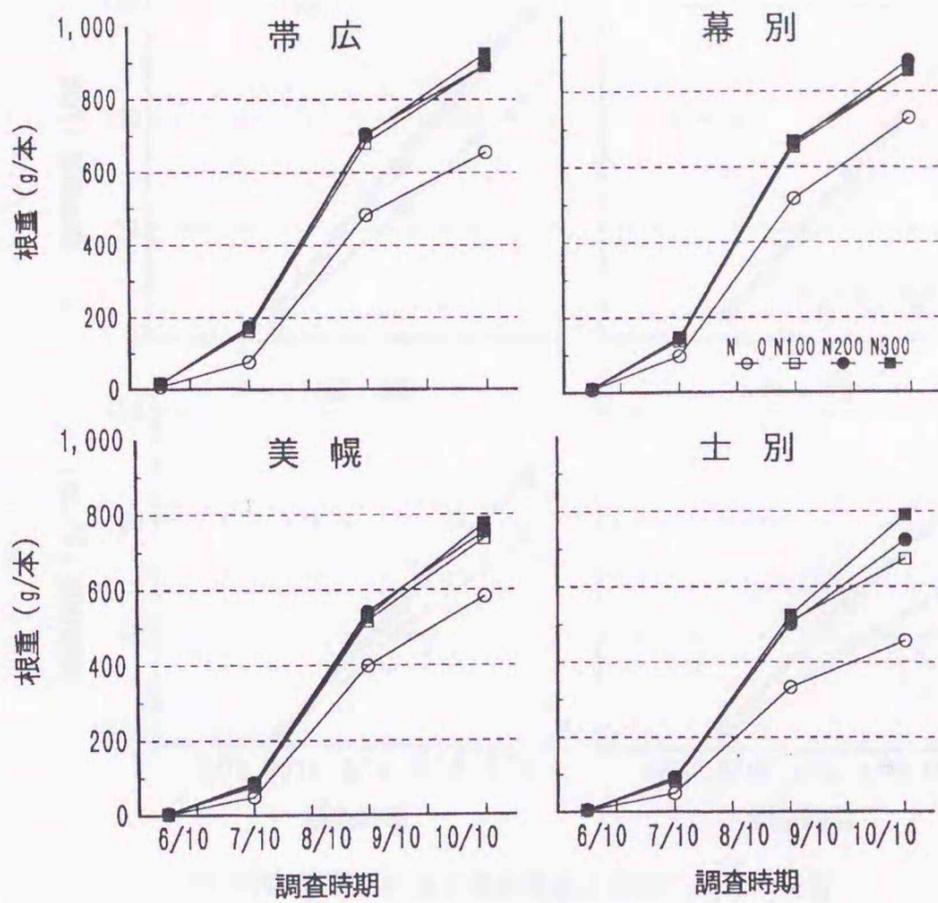
第4-11表 抜取調査月日

場所	1980				1981				1982			
帯広	6/15	7/ 9	8/29	10/25	6/15	7/8	8/29	10/12	6/15	7/ 8	8/31	10/13
幕別	6/15	7/ 9	8/29	10/29	6/15	7/8	8/31	10/ 9	6/15	7/ 8	8/31	10/12
美幌	6/16	7/10	9/ 4	10/12	6/15	7/9	8/28	10/ 5	6/16	7/10	9/ 2	10/ 7
士別	6/18	7/10	9/ 5	10/11	6/15	7/9	8/28	10/ 3	6/16	7/10	9/ 3	10/ 8

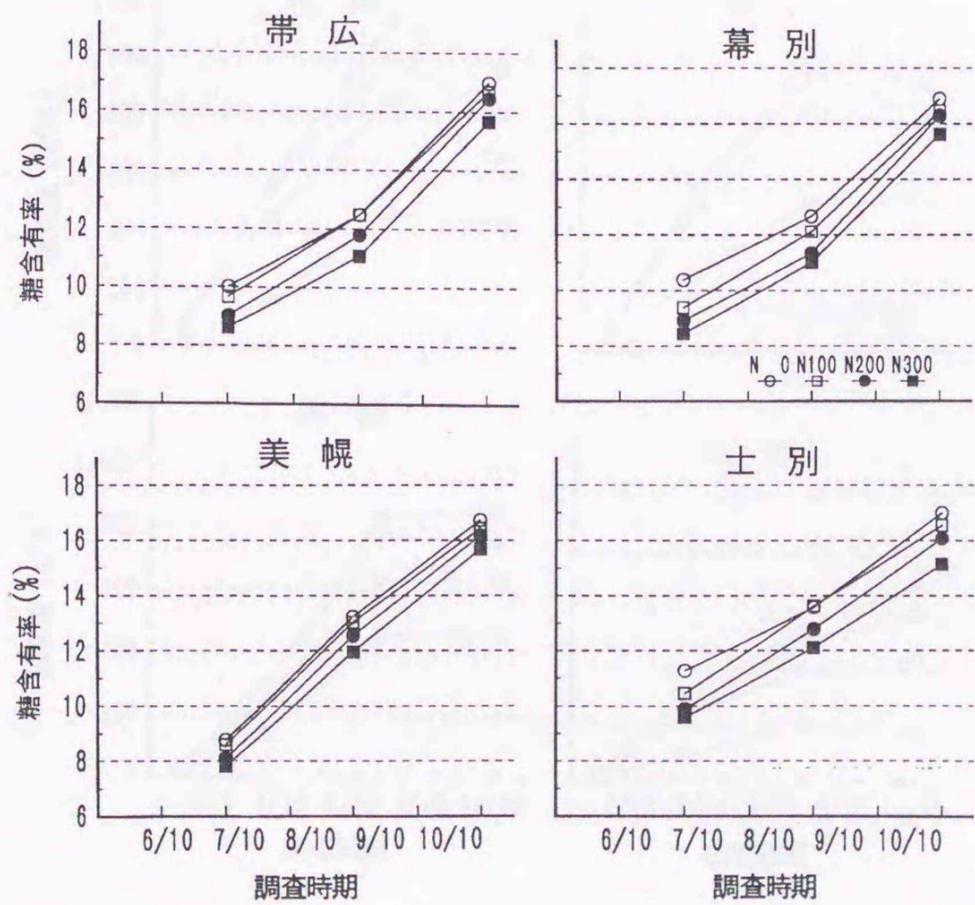
### 結果

調査結果を試験地別に3ヶ年の平均値で図示した。根重は4ヶ所とも、 $0\text{kgNha}^{-1}$  区を除いて7月上旬から8月下旬にかけて処理間差がほとんどなく、士別の10月上旬の調査時のみ窒素施肥量が多いほど根重が増加した(第4-4図)。糖含有率は窒素施肥量が多いほど低く、7月上旬の糖含有率の順位は10月上旬まで変わらなかった。8月下旬以降の糖含有率の上昇は帯広と幕別で大きかった(第4-5図)。

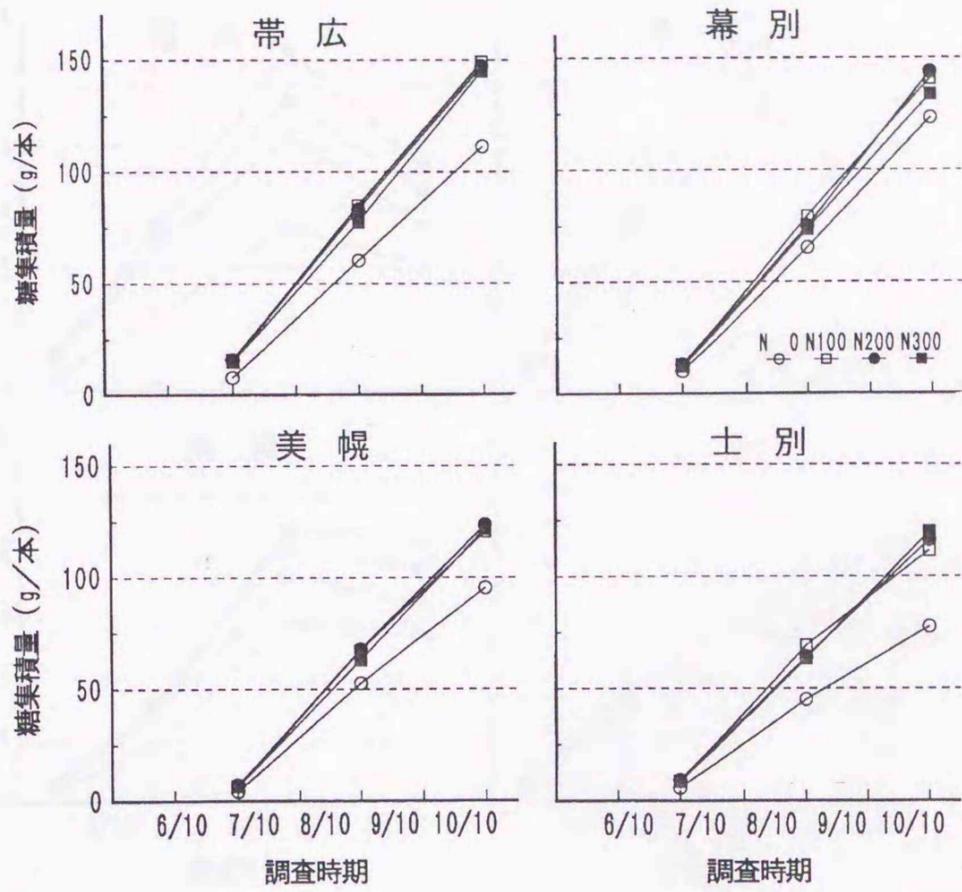
糖集積量は $0\text{kgNha}^{-1}$  区を除いて施肥量による差はどの試験地にもなかった(第4-6図)。茎葉重は7月上旬以降、窒素施肥量が多いほど高く推移した。 $100\text{kgNha}^{-1}$  以上の施肥の場合、帯広と幕別では10月に茎葉重が低下したが美幌では低下がなく、士別では茎葉重が増加し、試験地間差があった(第4-7図)。葉面積指数(LAI)は、ほぼ茎葉重の推移に類似したが、茎葉重が10月に低下した帯広と幕別では8月下旬の葉面積指数が5前後と高く、美幌、士別とは大きく異なった(第4-8図)。糖集積量が最も高かった区のLAIの水準は3から4であった。



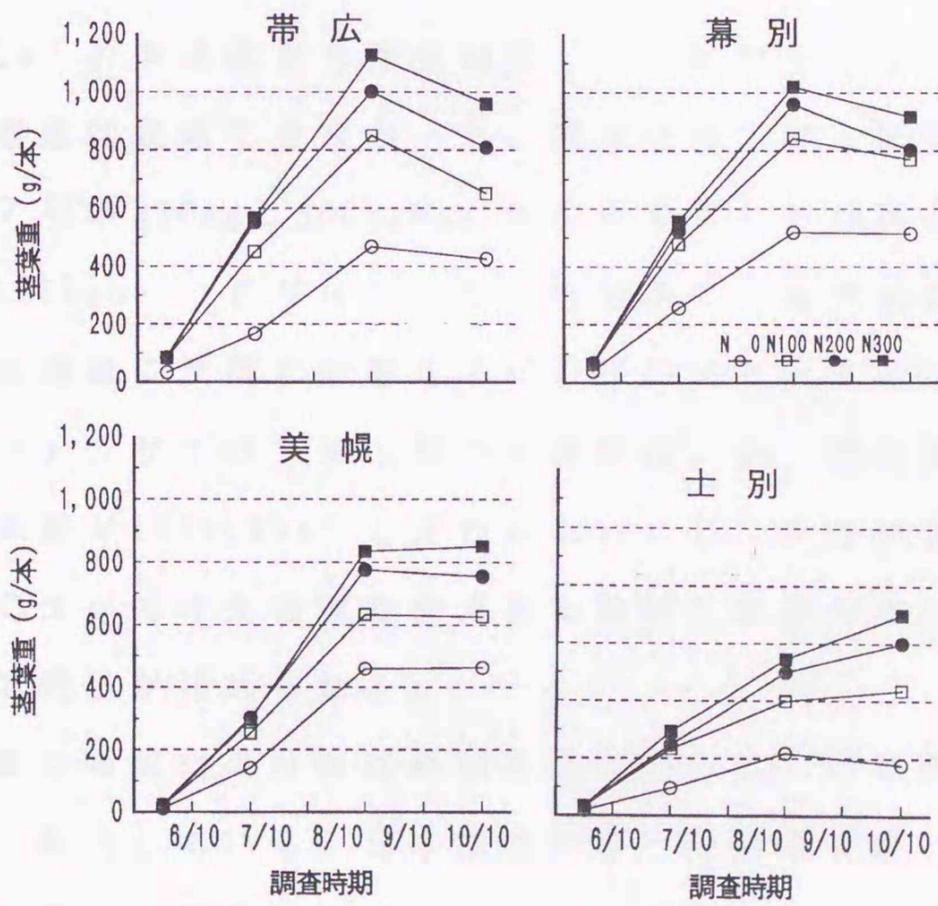
第4-4図 窒素施肥量が根重の推移に及ぼす影響  
(3ヶ年の平均)



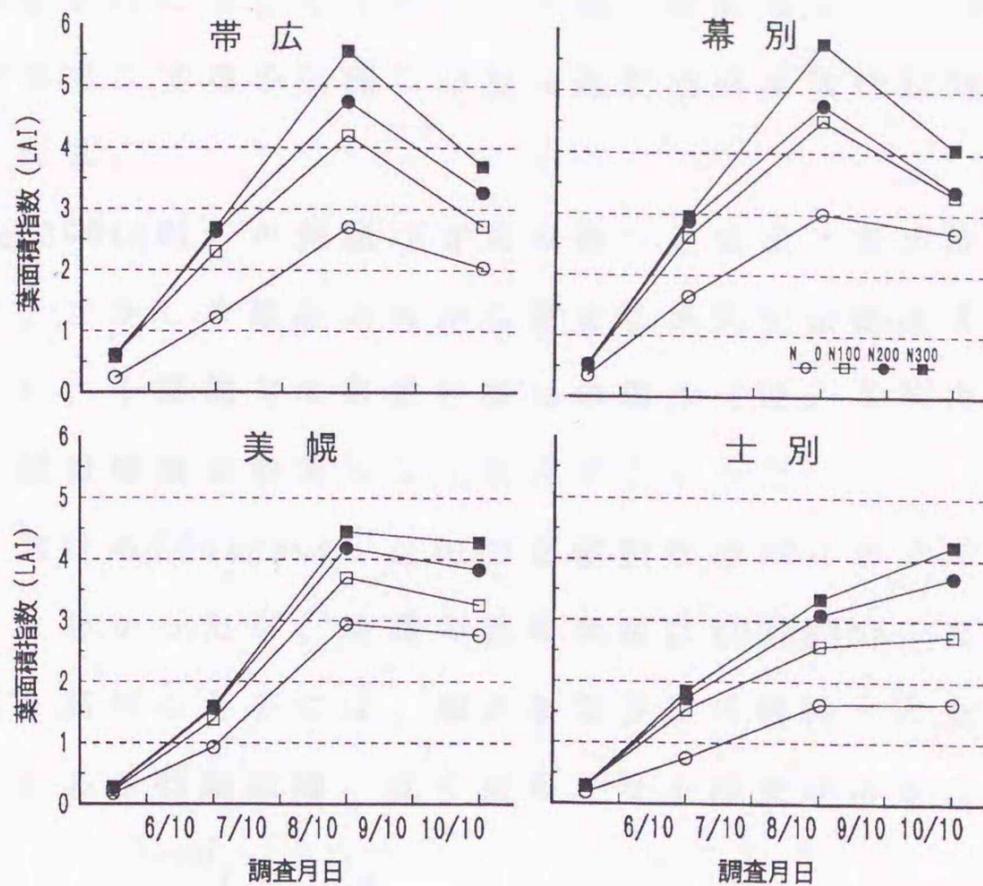
第4-5図 窒素施肥量が糖含有率の推移に及ぼす影響  
(3ヶ年の平均)



第4-6図 窒素施肥量が糖集積量の推移に及ぼす影響  
(3ヶ年の平均)



第4-7図 窒素施肥量が茎葉重の推移に及ぼす影響  
(3ヶ年の平均)



第4-8図 窒素施肥量が葉面積指数(LAI)の推移に及ぼす影響  
(3ヶ年の平均)

### 考察

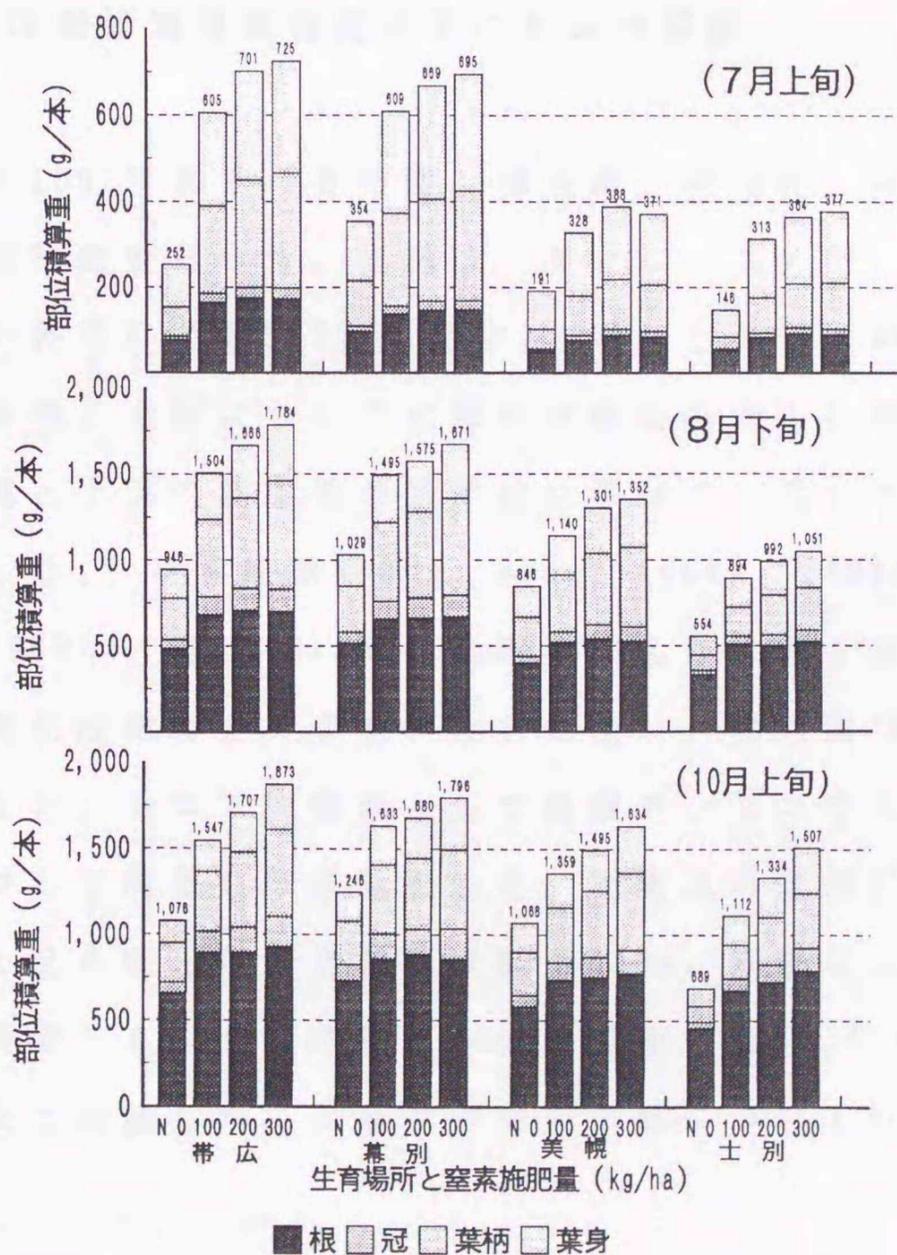
300kgNha<sup>-1</sup>の多量窒素を作条施肥したが紙筒苗に明らかな濃度障害や生育遅延は観察できなかった。根部形成に最も重要な時期である6月と7月の200kgと300kgNha<sup>-1</sup>区の茎葉重と葉面積の増加に対する効果は100kgNha<sup>-1</sup>と差がなかった。地域別に、窒素施肥量が各器官の時期別生育量に及ぼす影響を3年の平均値で示すと(第4-9図)、芽室地域のテンサイは7月上旬の生育は良いが、窒素施肥量が多くても葉身重量が100kgNha<sup>-1</sup>と変わらないこと、また10月上旬には美幌、士別に比べて非光合成器官である葉柄と冠部の重量が多くなっており地域間差が認められる。

移植直後の吸収根の分布は紙筒底部を中心に、作条施肥された肥料の周辺に集中している。日本甜菜製糖<sup>67)</sup>の調査では、茎葉がほぼ地表を覆う7月中旬までにテンサイは土壌窒素から30kgNha<sup>-1</sup>、作条施肥窒素からは90kgNha<sup>-1</sup>の合計約120kgNha<sup>-1</sup>を吸収している。今回

の試験結果を合わせて考えると、茎葉の植被率がほぼ100%を迎える7月中旬までに茎葉の展開に必要な施肥窒素量は約 $120\text{kgNha}^{-1}$ 程度と考えられる。

200kgと $300\text{kgNha}^{-1}$ の施肥は8月以降の茎葉重と葉面積を確実に増加させた。しかし本試験結果から適正な葉面積指数は3から4程度と考えられ、十勝地方の帯広と幕別の場合には、5前後に達する生育で、結局糖集積量の増加には効果がなかった。

士別における $300\text{kgNha}^{-1}$ 区の葉面積指数は10月まで高く推移し茎葉の競合はなかったが、最高の糖集積量は $200\text{kgNha}^{-1}$ で得られた。糖集積量を高めるためには、適正な葉面積の維持とともに体内の窒素含有率をある時期以降、低く推移させる必要があることを示唆している。



第4-9図 窒素施肥量が各器官の時期別生育量に及ぼす影響

ヨーロッパの直播栽培では窒素施肥は秋の全層施肥と出芽後の春の追肥が一般的であり，近年冬季における硝酸態窒素の流失による環境汚染が問題になっている<sup>83)</sup>。移植直前に全量を作条施肥できる移植栽培法は，硝酸態窒素の環境汚染の抑制の面でも利点がある。

日本甜菜製糖<sup>69)</sup>が1976年に帯広市で行った窒素肥料の作条と全層施肥の施肥効果に関する試験では，全層施肥した窒素 $150\text{kgNha}^{-1}$ 区の糖集積量水準に相当する作条施肥の窒素施肥量は $118\text{kgNha}^{-1}$ であり，全層施肥の作条施肥に対する窒素の施肥効率は80%程度と見ることができる。これも移植の窒素施肥量が少なくても良い理由の一つである。

## 実験 II 地域別最適窒素施肥診断のための試験

### 実験方法

1985年から1992年までの8年間，帯広市，幕別町，美幌町，士別市で窒素施肥試験を行った。品種は「モノエース」で，紙筒播種，移植，収穫の各月日を第5-3表に示す。帯広と幕別は毎年同一場所であるが，美幌と士別については毎年試験場所が少し異なる。1987年以降は美幌と士別の試験用の紙筒苗は幕別で一括して育苗し，運搬して移植した。窒素施肥量 $0\text{kg}$ ， $80\text{kg}$ ， $160\text{kg}$ ， $240\text{kgNha}^{-1}$ の4処理を設け，1988年以降は $40\text{kgNha}^{-1}$ 処理を加えた。第1節の試験で使った無窒素化成肥料を共通肥料として使い，窒素は30%を硝酸態窒素，70%をアンモニア態窒素として硫酸アンモニウム，尿素，硝酸アンモニウムで調整し作条施肥した。施肥以外は慣行法で管理した。試験は1区4畦，帯広と幕別は畦長6.0m，美幌と士別は5.4m、畦幅は全試験地とも60cm，株間を24cmの栽植密度 $69,400\text{本ha}^{-1}$ で，乱塊法6反復で実施した。収穫は中央の2畦について行い常法で調査した。

第4-12表 紙筒播種月日、移植月日と収穫月日

年次	紙筒播種月/日				移植月/日				収穫月/日			
	帯広	幕別	美幌	士別	帯広	幕別	美幌	士別	帯広	幕別	美幌	士別
1985	3/12	/23	/23	/21	5/ 2	5/ 8	4/24	5/ 8	10/22	/21	/11	/ 9
1986	3/25	/24	/28	/25	4/28	5/ 9	5/ 8	5/13	10/16	/14	/14	/11
1987	3/17	/26	/26	/26	4/25	4/30	4/24	5/14	10/22	/23	/13	/12
1988	3/22	/25	/25	/25	5/ 2	5/ 9	5/10	5/19	10/18	/25	/14	/12
1989	3/21	/27	/27	/27	4/29	5/ 1	5/11	5/ 7	10/18	/25	/ 9	/12
1990	3/17	/19	/19	/19	4/27	5/ 4	5/10	5/ 8	10/25	/15	/12	/15
1991	3/25	/24	/24	/24	4/26	4/29	5/ 8	5/ 5	10/23	/22	/11	/15
1992	3/16	/18	/18	/18	4/27	5/11	5/12	5/14	10/19	/21	/15	/14

## 結果

結果は各年毎に、各試験地の全試験区の平均値に対する相対値(%)で表し8ヶ年の各数値を一括して図示した。

帯広、幕別、美幌、士別の順に窒素施肥量と根重の関係を示した(第4-10図)。窒素施肥量(X)を従属変数、根重%(Y)を独立変数とする二次回帰式を求め、この回帰式で根重が最大となる窒素施肥量を計算した。根重が最大となる窒素施肥量と0kgNha<sup>-1</sup>における根重相対値と最大根重相対値%との差(以下窒素施肥の効果を表すものとして施肥効果と略記)は、それぞれ帯広では163kgNha<sup>-1</sup>と25.1%、幕別では182kgNha<sup>-1</sup>と18.1%、美幌では184kgNha<sup>-1</sup>と27.3%、士別では203kgNha<sup>-1</sup>と42.0%となり試験地間に差があった(第4-3表)。

窒素施肥量(X)と糖含有率(Y)の関係では、4試験地とも窒素施肥量が増すほど糖含有率は低下し、とくに160kgNha<sup>-1</sup>以上で大きく低下した(第4-11図)。試験地毎に求めた窒素施肥量と糖含有率の一次回帰式の勾配は、帯広は-0.279、幕別は-0.359、美幌は-0.432、士別は-0.453で試験地間に差があった。

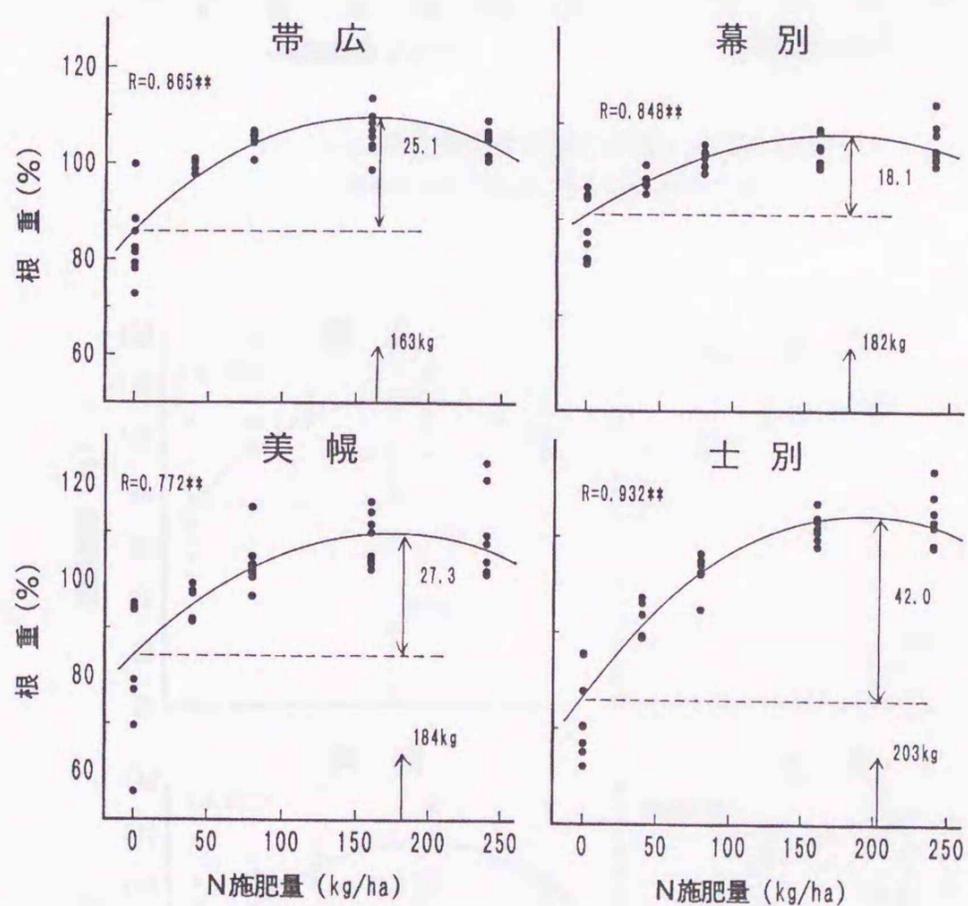
窒素施肥量(X)と糖集積量(Y)の関係では、二次回帰式で糖集積量

第4-3表 根重と糖集積量の最適N施肥量とその差

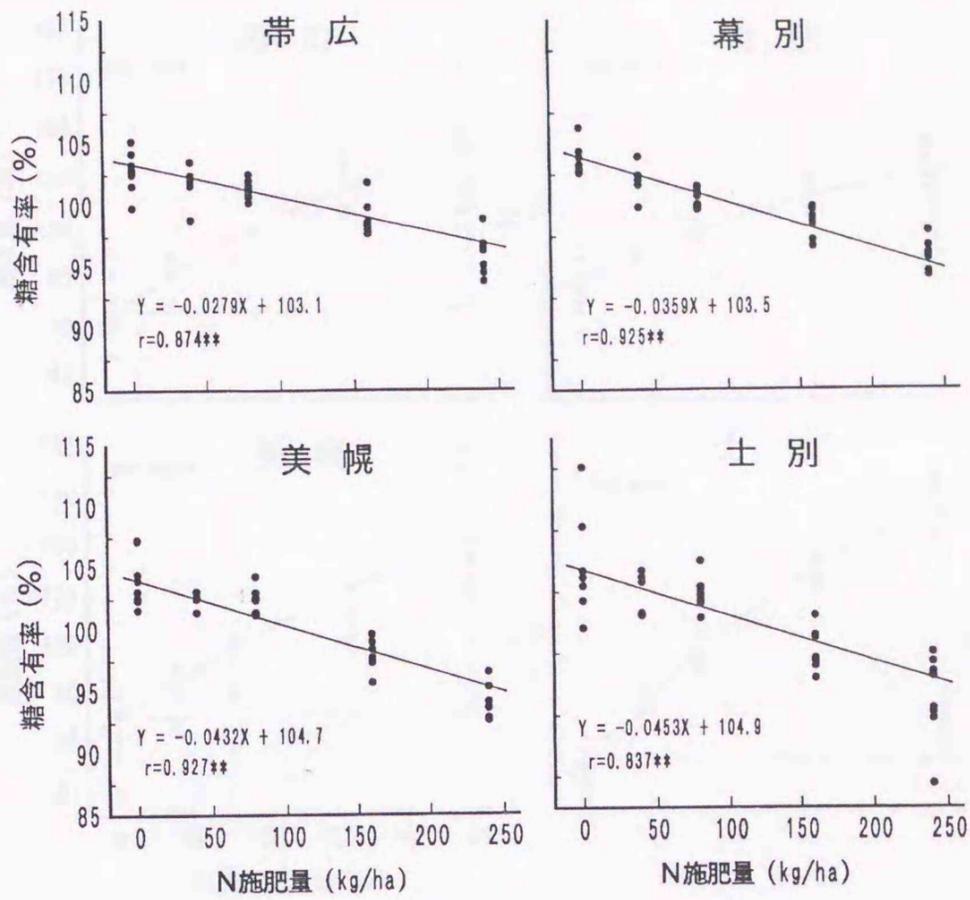
第4-3表 根重と糖集積量の最適N施肥量とその差  
 および各収量の最大値から1%低い収量を目標にした  
 場合のN施肥量の範囲 (Nkg $ha^{-1}$ )

場所	根 重		糖 集 積 量		最適 N 施 肥量の差 A-B
	最適 範囲	幅	最適 範囲	幅	
帯 広	163	130-196=66	145	113-177=64	18
幕 別	182	139-225=86	153	111-195=84	29
美 幌	184	149-219=70	151	119-183=64	33
士 別	203	172-235=63	174	146-203=58	29

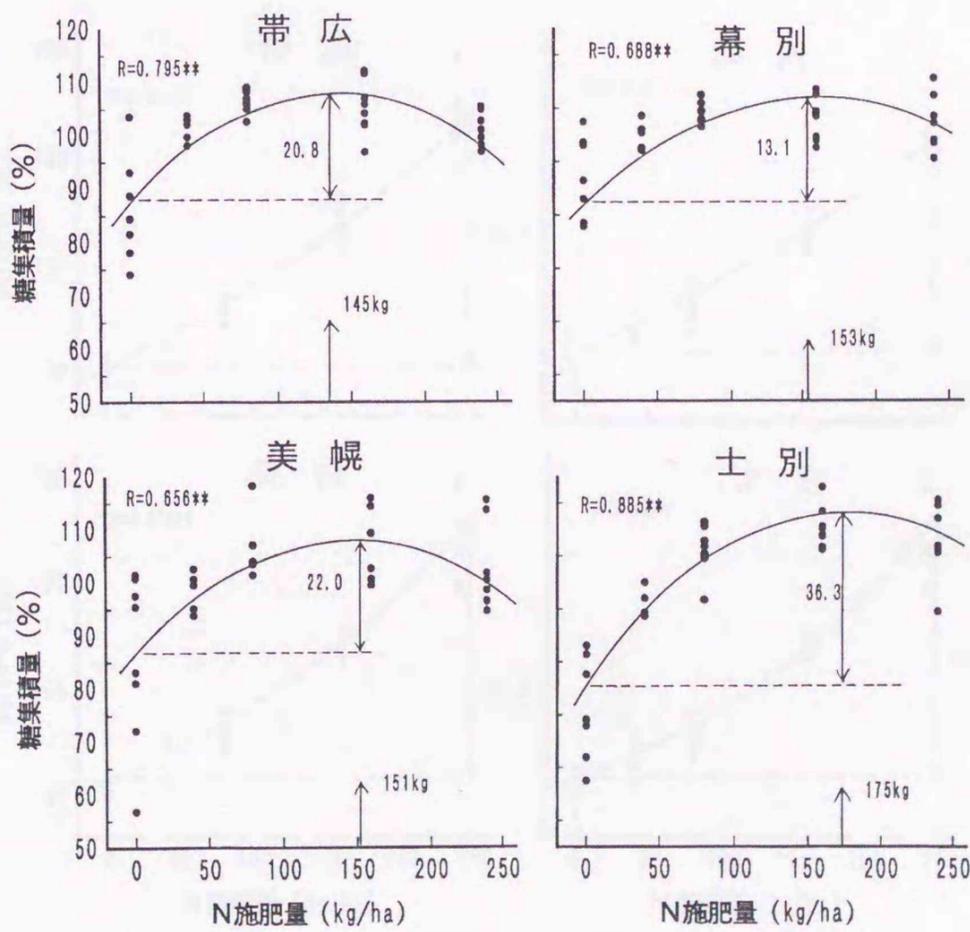
\* 2次回帰式を微分し最大根重、糖集積量となる  
 窒素施肥量。



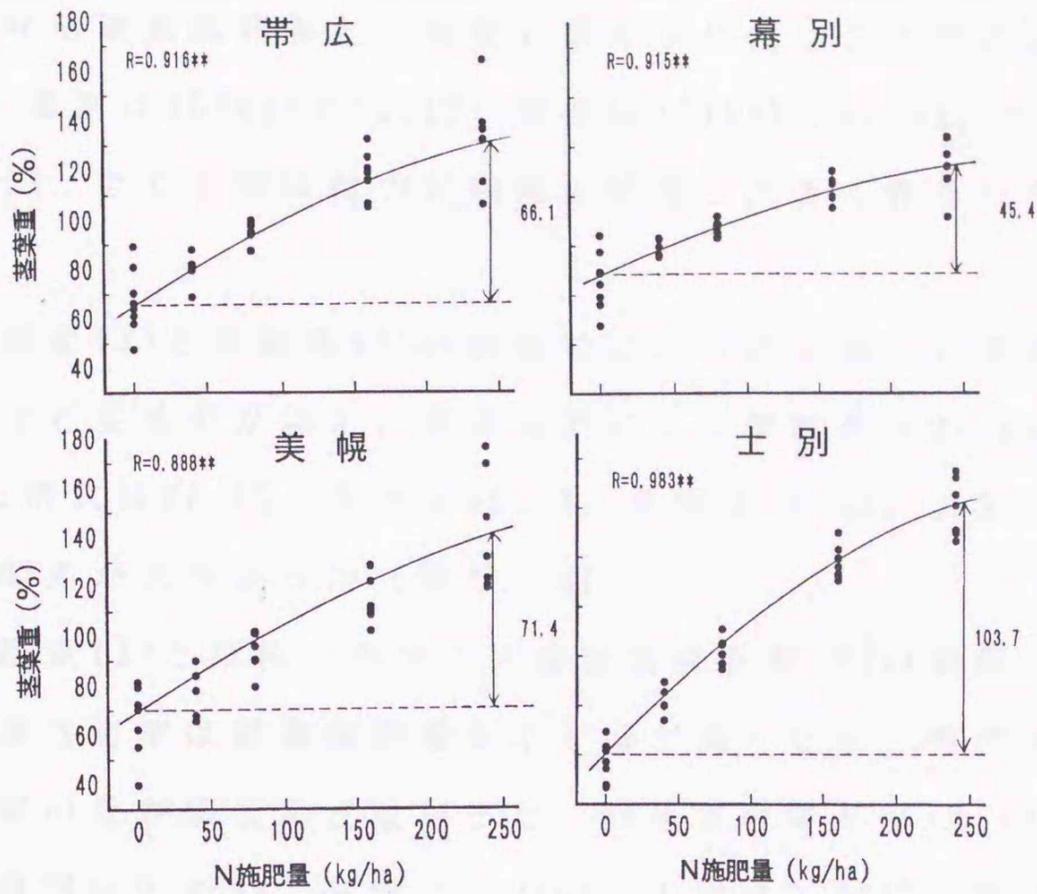
第4-10 図窒素施肥量が根重に及ぼす影響  
 客年の全区平均値に対する相対(%)で表す。



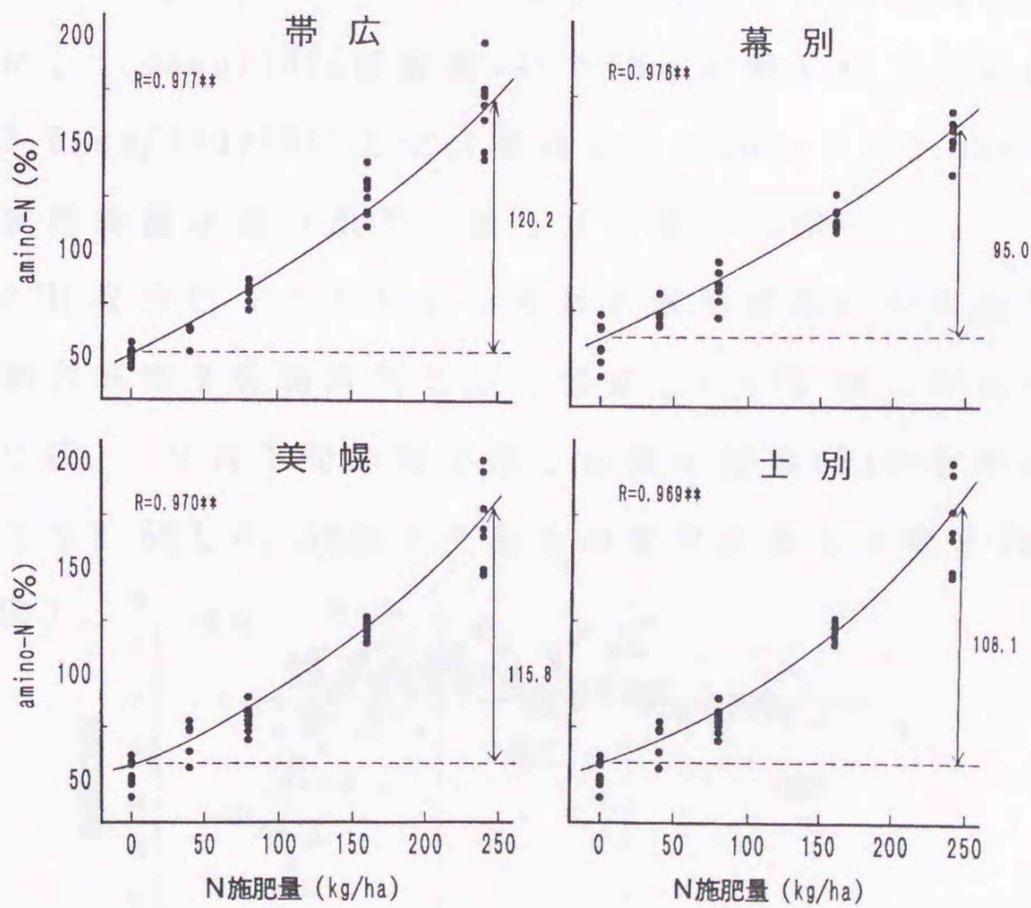
第4-11図 窒素施肥量が糖含有率に及ぼす影響  
客年の全区平均値に対する相対(%)で表す。



第4-12図 窒素施肥量が糖集積量に及ぼす影響  
客年の全区平均値に対する相対(%)で表す。



第4-13図 窒素施肥量が茎葉重に及ぼす影響  
 客年の全区平均値に対する相対(%)で表す。



第4-14図 窒素施肥量がアミノ態窒素含有率に及ぼす影響  
 客年の全区平均値に対する相対(%)で表す。

が最大となる窒素施肥量と，施肥効果を求めたところ帯広は145kgNと20.8%，幕別は153kgNと13.1%，美幌は151kgNと22.0%，士別は175kgNと36.0%となり士別は他の試験地の結果と大きく異なった（第4-12図）。

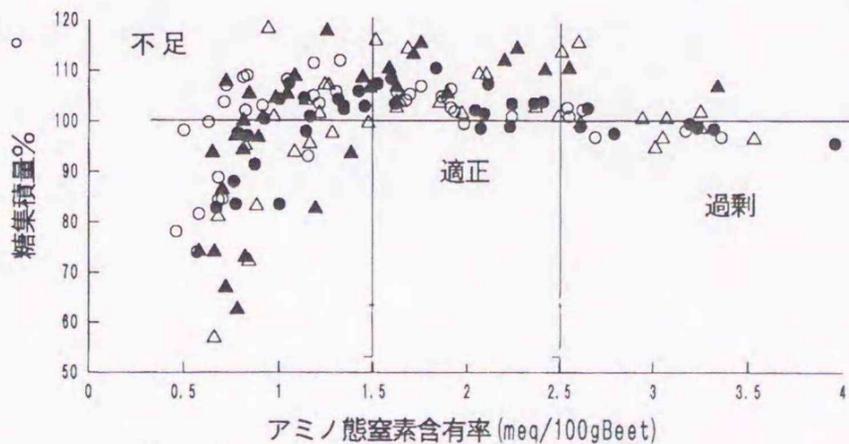
窒素施肥量(X)と茎葉重(Y)の関係では，4試験地とも窒素施肥量が増えるほど茎葉重が増え，窒素施肥による増加量(240kgNha<sup>-1</sup>-0kgNha<sup>-1</sup>)は帯広は66.1%，幕別は45.4%，美幌は71.4%，士別は103.7%と試験地間差が大きかった（第4-13図）。

窒素施肥量(X)と菜根中のアミノ態窒素含有率(Y)の関係では，アミノ態窒素含有率は窒素施肥量が増すほど高くなり，その増加の形に試験地間の差がほとんどなかった。回帰式の寄与率(R<sup>2</sup>)も帯広は0.955%，幕別は0.953%，美幌は0.940%，士別は0.940%とほぼ同じで，アミノ態窒素含有率が，試験地の気象や土壌条件の差異を越えて，窒素施肥量と極めて高い正の相関関係にあった（第4-14図）。

8カ年の実験結果から，アミノ態窒素含有率と糖集積量に密接な関係を認め，1.0meq/100g新鮮重(以下FMと記載)以下では糖集積量が低下し2.5meq/100gFM以上では漸減し，1.0meqから2.5meq/100gFMの範囲で糖集積量が高い水準にあった（第4-15図）。

40kgNha<sup>-1</sup>区を含む5カ年における抜き取り試料の分析結果から，収穫期の糖含有率を製糖原料として望ましい17%以上の水準に確保するためには，8月下旬の地上部と根部の窒素(N)含有率はそれぞれ乾物当たり2.5%と0.75%以下である必要があると示唆された。

(第4-16図)。

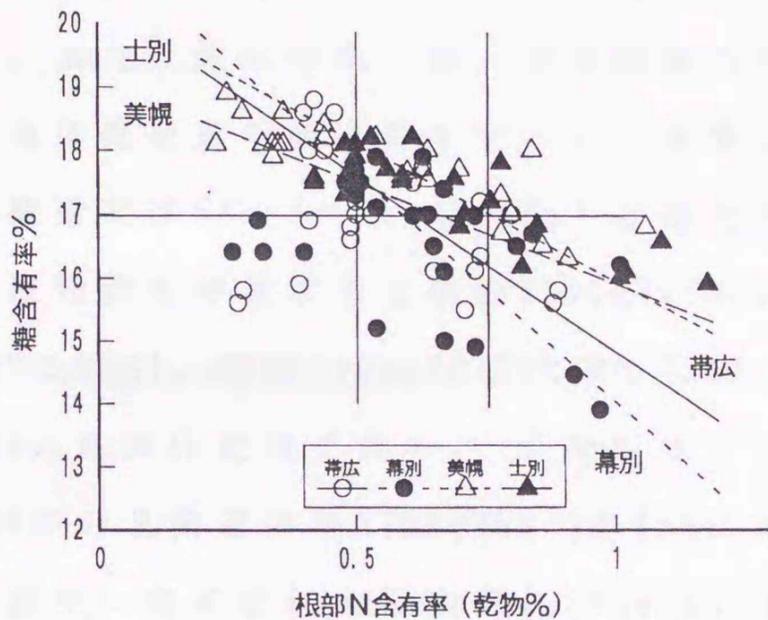
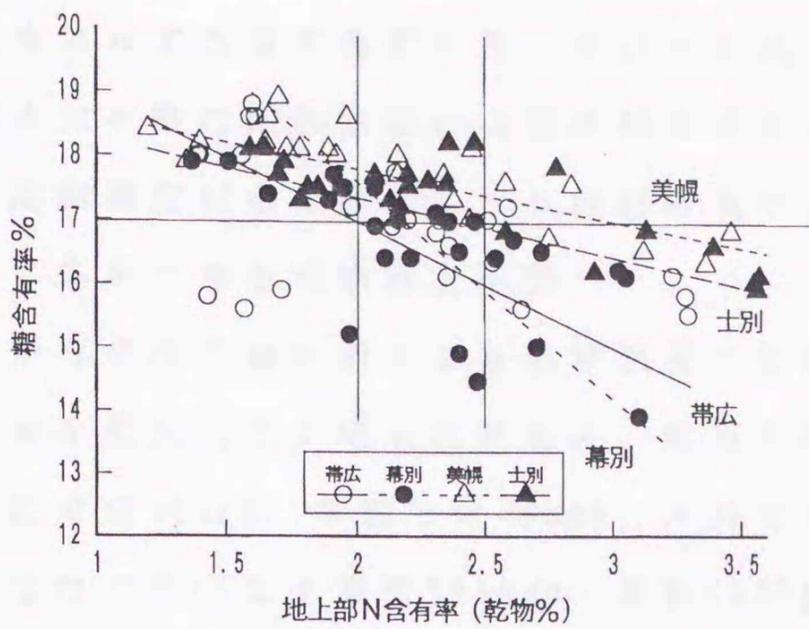


第4-15図 アミノ態窒素含有率と糖集積量の関係

第4-4表 分散分析

変動因	f	根 重			糖含有率		
		MS	F 値	分散成分%	MS	F 値	分散成分%
主 効 果							
年次 (Y)	4	76.01	8.74**	23.1	6.684	96.96**	30.8
場所 (L)	3	1518.37	174.52**	37.0	6.675	99.72**	28.1
施肥 (F)	4	735.68	84.56**	10.9	5.802	84.16**	14.9
交 互 作 用							
Y*L	12	412.95	47.46**	21.9	1.582	22.95**	16.0
Y*F	16	4.89	0.56	2.4	0.095	1.38	3.8
L*F	12	11.41	1.31	2.6	0.079	1.15	3.5
誤差	48	8.70		2.1	0.069		2.9

変動因	f	糖集積量			アミノ態窒素含有率		
		MS	F 値	分散成分%	MS	F 値	分散成分%
主 効 果							
年次 (Y)	4	4.503	13.45**	24.6	0.256	9.06**	19.7
場所 (L)	3	32.117	95.94**	34.0	1.906	67.55**	24.6
施肥 (F)	4	14.854	44.37**	9.2	8.302	294.28**	30.1
交 互 作 用							
Y*L	12	11.412	37.09**	22.4	1.218	43.18**	18.5
Y*F	16	0.150	0.45	3.2	0.025	0.89	2.3
L*F	12	0.431	1.29	3.6	0.071	2.53	2.9
誤差	48	0.335		2.9	0.028		1.9



第4-16図 8月下旬の地上部と根部の

N含有率と収穫期の根中糖分の関係

### 考察

4項目の実数値について分散分析を行った(第4-4表)。分散成分から、年次、場所、窒素施肥の寄与率を見ると、根重では場所、年次、窒素施肥の順に大きな影響を受け、糖含有率では年次、場所、窒素施肥の順に、糖集積量では根重と同じく場所、年次、窒素施肥の順に、アミノ態窒素含有率では、施肥、場所、年次の順にそれぞれ大きな影響を受けていた。また、交互作用は施肥と年次、施肥と場所の間には4調査項目ともになく、窒素施肥の効果が年次と場所の影

響を受けることが少ない紙筒移植と作条施肥の特徴を示した。アミノ態窒素含有率に対する窒素施肥の寄与率は最も高く、窒素施肥量とアミノ態窒素含有率の応答曲線には場所間差がなかった(第4-14図)。アミノ態窒素含有率の高低により施肥窒素の利用程度や窒素栄養施肥診断に応用できる可能性を示唆した。

本試験結果から年次変動を消去して窒素施肥の影響のみを評価すると、糖集積量を最大にする窒素施肥量は、根重を最大にする窒素施肥量より帯広では18kgN、幕別では29kgN、美幌では33kgN、士別では29kgNha<sup>-1</sup>それぞれ少なく帯広145kgN、幕別153kgN、美幌151kgN、士別174kgNha<sup>-1</sup>と、士別以外では土壌と地域が異なっても差異は小さかった。また、最大根重と最大糖集積量の相対値%から1%低下する場合の窒素施肥量の幅を算出すると、根重では63kgNから86kgNha<sup>-1</sup>、糖集積量では58kgNから84kgNha<sup>-1</sup>と施肥効果が小さい施肥帯があり、経済効果を考慮すると帯広113kgN(145kgNの78%)、幕別111kgN(153kgNの73%)、美幌119kgN(151kgNの79%)、士別146kgNha<sup>-1</sup>(174kgNの84%)の窒素施肥量で良く、士別以外については現在の窒素施肥量(1998年の北海道平均173kgNha<sup>-1</sup>)の65%に相当する。紙筒移植栽培では育苗中に窒素肥料を最適(1.0kgNha<sup>-1</sup>)施肥しており、移植後の茎葉の展開が直播に比べると早いのが特徴で、生産費の削減と過剰施肥による環境汚染を回りつつ、高い糖集積量を確保して、現在の窒素施肥量を30%減らすことが可能である。

8ヶ年の試験結果からアミノ態窒素含有率と糖集積量との間に密接な相関関係のあることを4試験地ともに認めた。1.0meq/100gFM(新鮮物)以下では糖集積量が低下し、2.5meq/100gFM以上では漸減し、1.0meq/100gFMから2.5meq/100gFMの範囲では糖集積量が高かった(第4-15図)。

40kgNha<sup>-1</sup>区を含む5カ年における抜き取り試料の分析結果から、収穫期の糖含有率を製糖原料として望ましい17%以上の水準に確保するためには、8月下旬の地上部と根部の窒素(N)含有率がそれぞれ2.5%/DM(乾物)と0.75%/DM以下である必要があり、その場合の窒素施肥量の5年間の平均値は帯広は18kgNha<sup>-1</sup>、幕別は29kgNha<sup>-1</sup>、美幌は33kgNha<sup>-1</sup>、士別は29kgNha<sup>-1</sup>と本考察で上述した合理的窒素施肥量(4カ所平均値:122kgNha<sup>-1</sup>)よりかなり少なかった(第4-16図)。したがって、糖含有率に関しては、より高い糖含有率をもち糖集積量が高い品種の育成と導入の必要性は今後も変わらない。

### 実験Ⅲ アミノ態窒素含有率を基にした窒素栄養診断の検証

当節実験Ⅱで述べたように菜根中のアミノ態窒素含有率がテンサイの窒素栄養状態を示す指標として有効であるとの示唆を得たことから、一般農家の収穫テンサイ菜根中のアミノ態窒素含有率と根重、糖含有率、糖集積量との関係を調査し、適正窒素施肥診断への応用の可能性を芽室、美幌、士別の各製糖所の地域について検討した。

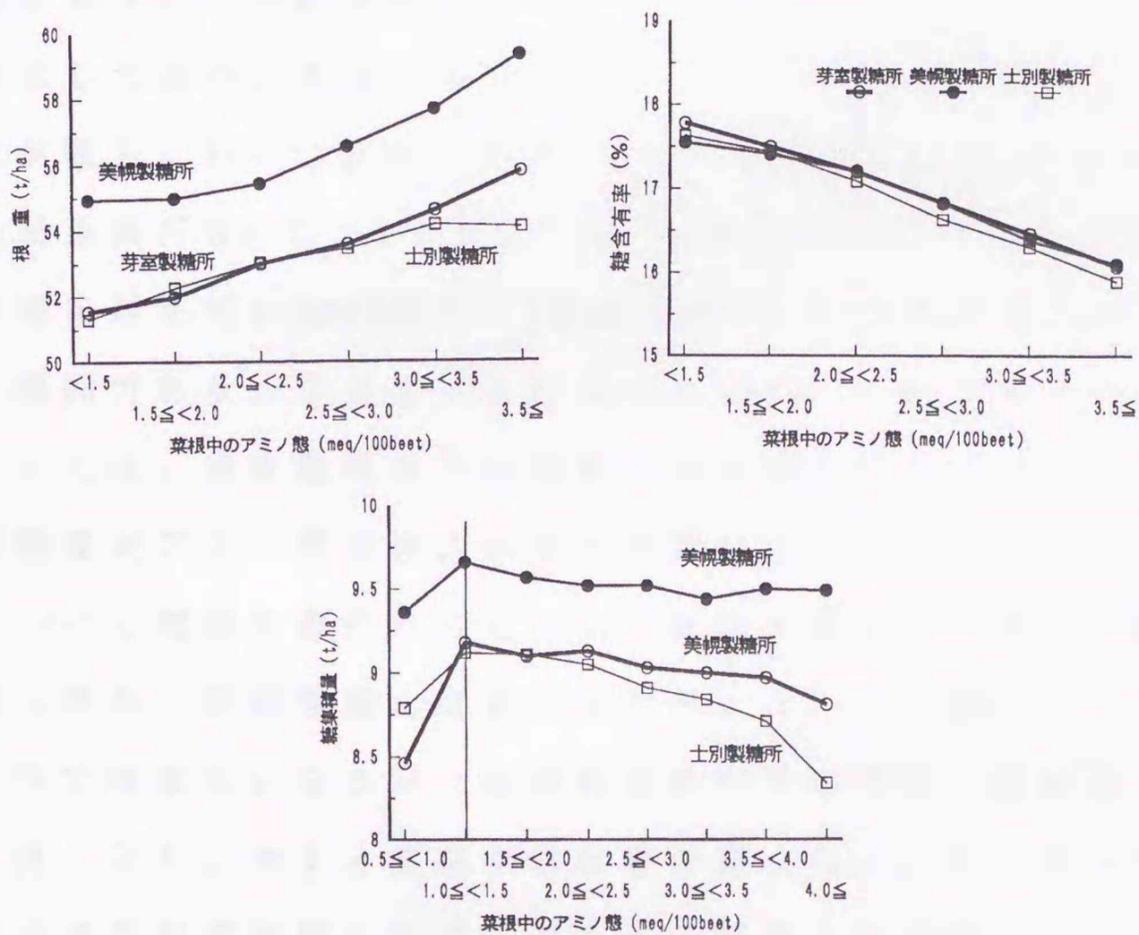
#### 実験方法

1993年から1995年までの3年間、3製糖所地域の全農家の原料のアミノ態窒素含有率、根重、糖含有率と糖集積量を用い、アミノ態窒素含有率と根重および糖含有率については1.0meq/100gFM区分毎に、糖集積量については0.5meq/100gFM区分毎に集計した。区分内の戸数が全戸数の1%未満の場合にはより多い隣接区分に加え加重平均をした。調査戸数は芽室10,439戸、美幌3,521戸、士別11,944戸の総計25,904戸である。

#### 結果

アミノ態窒素含有率区分別の根重tha<sup>-1</sup>、糖含有率%、糖集積量tha<sup>-1</sup>を製糖所地域別に示した(第4-17図)。根重では3製糖所ともにアミノ態窒素含有率が高いほど、ほぼ同じ割合で根重が高くなった。

士別の3.0meq/100gFM以上の区分は芽室、美幌と異なり根重が高くなかった。根重の実数値は美幌が明らかに高かった。糖含有率では3製糖所ともアミノ態窒素含有率が高いほど、糖含有率は直線的に低下し、その低下割合は3製糖所地域で同じであった。糖集積量は0.5meqから1.0meq/100gFMの範囲で3製糖所とも糖集積量が低下した。1.5meq/100gFM以上では漸減したが、芽室と士別では2.5meq/100gFM以上で大きく低下した。糖集積量からみて相当数の一般農家圃場は窒素供給量が多過ぎる領域にあった。



第4-17図 菜根中のアミノ態窒素含有率と根重、糖含有率および糖集積量の関係  
1983-1985:芽室10,439戸、美幌3,521戸、士別製糖所11,944戸

## 考察

井村ら<sup>36)</sup>は菜根中のアミノ態窒素含有率が高いほど、全窒素吸収量が多く、両者に正の相関関係があることを報告している。また第4章2節の地域別窒素施肥量の解明試験では、アミノ態窒素含有率が1.5meqから2.0meq/100gFMの範囲で糖集積量が高いことを述べてきた。

25,904戸の一般農家テンサイを取りまとめた本調査においても、アミノ態窒素含有率により糖集積量に差があり、1.0meq/100gFM以下の場合に3製糖所地域とも糖集積量が低下していることが明らかとなった。1986年の糖分取引制度の開始以降糖分測定センターにおいて、糖含有率とともに非糖分の一つとしてアミノ態窒素含有率を同時に測定しており、窒素栄養施肥診断に利用できることになる。

本章実験Ⅱにおいて窒素施肥量とアミノ態窒素含有率の応答曲線には地域間差異がないことを報告している。紙筒移植栽培条件においては、地域を越えて1.0meqから2.0meq/100gFMの範囲が糖集積量の高い適正範囲であり、少なくとも2.5meq/100gFMを毎年越えるような畑については、窒素施肥量や有機物の施用量を減らす必要がある。

糖集積量がアミノ態窒素含有率の影響を受ける理由については、M.Burbaら<sup>5)</sup>の総説を参照にすると、硝酸態窒素で吸収された窒素が硝酸還元酵素、亜硝酸還元酵素によりアンモニアに還元され、アミノ酸を経て体蛋白となるが、窒素施肥量が多い場合、硝酸還元酵素活性が高くなり、アミノ態窒素含有率が高くなる。したがって茎葉の高い窒素含有率は糖の生成を遅らせて糖含有率が低く、その結果糖集積量が低下すると考えている。

### 第3節 硝酸吸収に及ぼすナトリウムとカリウムの効果

ナトリウムはテンサイにとって有用元素であり，北海道でも1955年代に直播で試験研究が行われ，施用効果が認められている<sup>15,48)</sup>。そこで移植テンサイにおけるナトリウムの施肥効果の確認とその要因についてカリウムと比較検討し，併せてナトリウムの施肥効果が期待できる土壌の交換性ナトリウム含有率について検討した。

#### 実験 I ナトリウムの施肥試験

##### 実験方法

1980年に，帯広市の火山性土と幕別町の褐色低地土で，加里とナトリウムの有無による4処理の要因試験を実施した。加里とナトリウムの施肥量はそれぞれ $150\text{kgK}_2\text{Oha}^{-1}$ と $99\text{kgNa}_2\text{Oha}^{-1}$ で，両要素を同じ当量( $3.2\text{keq}$ )とした。加里は硫酸加里で，ナトリウムは硫酸ナトリウムで，その他の要素は共通とし， $161\text{kgNha}^{-1}$ (内 $51\text{kgNO}_3\text{-N}$ )， $250\text{kgP}_2\text{O}_5\text{ha}^{-1}$ ， $50\text{kgMgOha}^{-1}$ をリン酸アンモニウム，硝酸アンモニウム，硫酸マグネシウムで調整し作条施肥した。帯広と幕別の順に，播種は3月23日と23日，移植は5月16日と12日，収穫は10月23日と11月4日である。試験は1区5畦，畦幅60cm，畦長5.4mとしラテン方格法で行った。施肥処理以外は慣行法で管理した。帯広は7月2日に，幕別は7月3日に5畦の外側2畦から各々5本，1区当たり10本の処理合計40本を抜取り生育調査を行った。収穫は中央の3畦について行い常法で調査した。

##### 結果

7月の生育調査の結果，施肥処理に対するテンサイの反応は，葉身重と茎葉重でほぼ等しく，カリウム，ナトリウムそれぞれの施肥により重量が増え，相乗効果が帯広，幕別の両試験地で認められた。

火山性土の帯広の効果が，褐色低地土の幕別より大きかった（第4-5表）。

第4-5表 カリウムとナトリウム施用が  
7月上旬の生育に及ぼす影響

kg ha <sup>-1</sup>		葉身部		葉部		根部	
K:0	Na:0	清川	幕別	清川	幕別	清川	幕別
0	0*	100	100	100	100	100	100
150	0	122	103	123	104	124	105
0	99	129	104	128	104	114	114
150	99	167	109	172	111	181	112
*実数 g/本		55	116	93	209	21	48

第4-6表 カリウムとナトリウム施用が生育と糖集積量に及ぼす影響

施肥量 kg ha <sup>-1</sup>		根重 tha <sup>-1</sup>			糖含有率 %			糖集積量 tha <sup>-1</sup>		
K:0	Na:0	帯広	幕別	施肥* 効果	帯広	幕別	施肥 効果	帯広	幕別	施肥 効果
0	0	42.2	58.4	(91)	16.41	17.16	(100)	6.97	10.02	(91)
150	0	48.9	61.3	(100)	16.44	17.23	(100)	8.03	10.56	(100)
0	99	48.1	63.7	(101)	16.33	16.90	(99)	7.85	10.76	(100)
150	99	50.8	64.6	(105)	16.55	17.15	(101)	8.41	11.07	(105)
LSD 5%		3.8	3.6		ns	ns		0.64	0.54	

施肥量 kg ha <sup>-1</sup>		茎葉重 tha <sup>-1</sup>			K含有率 meq**			Na含有率 meq**		
K:0	Na:0	帯広	幕別	施肥 効果	帯広	幕別	施肥 効果	帯広	幕別	施肥 効果
0	0	56.8	47.4	(99)	4.64	5.33	(94)	0.80	1.12	(99)
150	0	56.7	48.3	(100)	5.04	5.60	(100)	0.81	1.14	(100)
0	99	57.3	51.7	(104)	4.75	5.44	(96)	1.16	1.60	(142)
150	99	57.2	49.5	(102)	5.05	5.52	(100)	1.09	1.47	(132)
LSD 5%		ns	ns		ns	ns		0.21	0.25	

\* 施肥効果：150kgK:0ha<sup>-1</sup>処理に対する各処理の相対値の平均。

\*\*meq/100g新鮮重

収獲調査の結果を帯広と幕別の平均（施肥効果）で見ると，両要素の無施肥区に対し，根重はカリウム施肥で9%，ナトリウム施肥で11%，両要素の施肥で14%増加し，ナトリウムのカリウムと同等の効果が認められた。根重差は大きかったが糖含有率には処理間差はなかった。したがって糖集積量に対する施肥の影響は根重と一致した（第4-6表）。菜根中のカリウムとナトリウム含有率は施肥処理とほぼ一致し，カリウム施肥はNaの，ナトリウム施肥はKの含有率に影響を及ぼさなかった。また，ナトリウム無施肥区におけるNaは，カリウム無施用区のKに比べ，両要素施肥区に対する低下割合が大きかった。

### 考察

土壌の交換性カリウムとナトリウムが少ない帯広の火山性土における糖集積量に及ぼすカリウムとナトリウムの施肥効果は，褐色低地土の幕別における効果より高かった。分散分析により糖集積量に及ぼすカリウムとナトリウムの効果をみたところ全く等しかった。菜根中のK含有率はナトリウム施肥の有無による影響を受けなかったが，Na含有率はカリウム施肥が無い場合に含有率が高くなった（第4-7表）。

第4-7表 分散分析\*

変動因	f	糖集積量		K含有率		Na含有率	
		MS	F値	MS	F値	MS	F値
主効果							
場所(L)	1	18.0	2.45	15.1	4.37	12.5	8.3
カリウム(K)	1	84.5	11.52*	45.1	13.05*	18.0	12.0*
ナトリウム(Na)	1	84.5	11.52*	1.1	0.33	1625.0	1083.0**
交互作用							
K*Na	1	4.5	0.61	3.1	0.90	40.5	27.0*
誤差	3	7.3		3.5		1.5	

\* K\*Na以外の2因子交互作用項は省略した。

## 実験 II ナトリウムの増収要因解析に関する試験

### 実験方法

1981年の試験で、ナトリウムの施用効果の高かった火山性土の帯  
広で、カリウム施肥量0kg, 150kg, 300kg $\text{K}_2\text{O}$ kg $\text{ha}^{-1}$ の3処理と、ナトリ  
ウム0kg, 99kg, 198kg $\text{Na}_2\text{O}$ kg $\text{ha}^{-1}$ の3処理を組み合わせた要因試験を行  
った。カリウムの150kg $\text{ha}^{-1}$ とナトリウムの99kg $\text{ha}^{-1}$ , カリウムの300  
kg $\text{ha}^{-1}$ とナトリウム198kg $\text{ha}^{-1}$ は同じ当量である。カリウムは硫酸加  
里, ナトリウムは硫酸ナトリウムで, その他の要素は共通とし, 16  
0kgN (内41kg $\text{NO}_3\text{-N}$ ), 200kg $\text{P}_2\text{O}_5$ , 50kg $\text{MgO}$ kg $\text{ha}^{-1}$ をリン酸アンモニウム,  
硝酸アンモニウム, 硫酸マグネシウムで調整し作条施肥した。品種  
は「カーベメガモノ」で, 播種は3月25日, 移植は4月30日, 収穫  
は10月19日に行い, 試験は1区8畦, 畦幅60cm, 畦長6.0mで4反復  
で実施した。5月から8月の各下旬に, 各区の中央の6畦から12本  
4反復合計48本を抜取り生育調査と要素含有率を調査した。収穫は  
中央の6畦の畦長2.4mについて行い常法で調査した。

### 結果

6月29日の抜取調査の結果, 葉面積指数(LAI)に対する, ナトリウ  
ムの施肥効果がカリウムの各水準で認められ, カリウムの効果より  
明瞭であった。葉柄中のNaと $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度も, カリウムの各水準で, ナ  
トリウムの施肥量が増えるほど上昇した(第4-8表)。

収穫調査の結果, 根重に対して, ナトリウムの増肥はカリウムの  
増肥と同程度の効果を示した。糖含有率は, 根重の処理間差が大き  
かったにもかかわらず処理間差が全くなかった。したがって, カリ  
ウムとナトリウムの糖集積量に及ぼす効果は根重に対する増収効果  
と一致した(第4-9表)。分散分析により両要素の効果を比較したと  
ころ, 糖集積量に対しカリウムはナトリウムの倍の効果を示した。  
菜根中のK含有率はカリウム施肥にのみ影響を受けたが, Na含有率  
はナトリウムと同時にカリウムの影響も受け, カリウムの増肥とと

もにNa含有率は低下した(第4-10表)。

第4-8表 ナトリウムとカリウム施用が葉面積指数と葉柄のNa、NO<sub>3</sub>-N含有率に及ぼす影響(6月29日)

施肥量 K <sub>2</sub> O kg ha <sup>-1</sup>	葉面積指数(LAI)				葉柄のNa含有率%				葉柄のNO <sub>3</sub> -N含有率%			
	Na <sub>2</sub> O kg ha <sup>-1</sup>				Na <sub>2</sub> O kg ha <sup>-1</sup>				Na <sub>2</sub> O kg ha <sup>-1</sup>			
	0	99	198	平均	0	99	198	平均	0	99	198	平均
0	1.21	1.68	1.71	1.53	18	112	137	92	1.21	1.90	2.05	1.72
150	1.44	1.49	1.82	1.58	14	63	90	56	1.45	1.71	2.14	1.77
300	1.52	1.59	1.67	1.59	11	51	57	40	1.69	1.96	2.16	1.94
平均	1.39	1.59	1.73	1.57	14	75	95	63	1.45	1.86	2.12	1.81
指数	(100)	114	124		(100)	536	679		(100)	128	146	

第4-9表 収穫調査結果

施肥量 K <sub>2</sub> O kg ha <sup>-1</sup>	根重 <th>tha<sup>-1</sup></th> <th colspan="4">糖含有率%</th> <th colspan="4">糖集積量<th>tha<sup>-1</sup></th> </th>				tha <sup>-1</sup>	糖含有率%				糖集積量 <th>tha<sup>-1</sup></th>				tha <sup>-1</sup>
	Na <sub>2</sub> O kg ha <sup>-1</sup>				Na <sub>2</sub> O kg ha <sup>-1</sup>				Na <sub>2</sub> O kg ha <sup>-1</sup>					
	0	99	198	%	0	99	198	%	0	99	198	%		
0	47.4	51.1	51.7	100	16.3	16.4	16.4	100	7.70	8.48	8.48	100		
150	52.7	54.3	54.8	107	16.4	16.6	16.4	100	8.65	8.91	9.00	107		
300	53.8	55.9	56.9	110	16.6	16.6	16.6	101	8.82	9.17	9.43	112		
平均	51.1	53.8	54.8		16.4	16.6	16.4		8.39	8.91	9.00			
%	(100)	105	107		(100)	101	100		(100)	106	107			

施肥量 K <sub>2</sub> O kg ha <sup>-1</sup>	茎葉重 <th>tha<sup>-1</sup></th> <th colspan="4">K含有率meq</th> <th colspan="4">Na含有率meq</th>				tha <sup>-1</sup>	K含有率meq				Na含有率meq			
	Na <sub>2</sub> O kg ha <sup>-1</sup>				Na <sub>2</sub> O kg ha <sup>-1</sup>				Na <sub>2</sub> O kg ha <sup>-1</sup>				
	0	99	198	%	0	99	198	%	0	99	198	%	
0	34.1	37.2	37.2	100	3.75	3.53	3.53	100	0.45	0.80	1.14	100	
150	38.3	37.5	37.2	102	3.72	3.75	3.72	104	0.45	0.75	1.13	96	
300	38.7	36.0	38.7	102	4.28	3.98	4.05	114	0.34	0.61	0.87	75	
平均	37.2	36.8	37.5		3.91	3.76	3.79		0.41	0.72	1.05		
%	(100)	99	101		(100)	96	97		(100)	176	256		

第4-10表 分散分析

変動因	f	根 重		糖含有率		糖集積量	
		MS	F 値	MS	F 値	MS	F 値
主効果							
カリウム(K)	2	61.91	9.63**	0.109	1.07	2.05	15.17**
ナトリウム(Na)	2	28.41	4.42*	0.026	0.31	0.96	7.10**
交互作用							
K*Na	4	2.15	0.33	0.008	0.09	0.07	0.52
誤差	24	6.43		0.084		0.14	

変動因	f	茎葉重		K含有率		Na含有率	
		MS	F 値	MS	F 値	MS	F 値
主効果							
カリウム(K)	2	61.91	9.63**	1.39	16.94**	0.22	4.20**
ナトリウム(Na)	2	28.41	4.42*	0.15	1.77	2.00	37.28**
交互作用							
K*Na	4	2.15	0.33	0.06	0.76	0.01	0.23
誤差	24	6.43		0.084		0.05	

\* K\*Na以外の2因子交互作用項は省略した。

### 考察

本試験により、施肥ナトリウムは硝酸の吸収を促進し、これにより葉面積の拡大が早くなり、その結果、糖集積量が増えることが明らかとなった。また、各処理によりK含有率とNa含有率の高低の幅は大きかったが、これらが糖含有率に対し影響していないことがわかった。ナトリウム施肥により不純物としてのNa含有率は増加するが、糖含有率を押し下げる作用はないことが明らかとなった。

### 実験Ⅲ ナトリウムの土壌診断基準作成試験

#### 実験方法

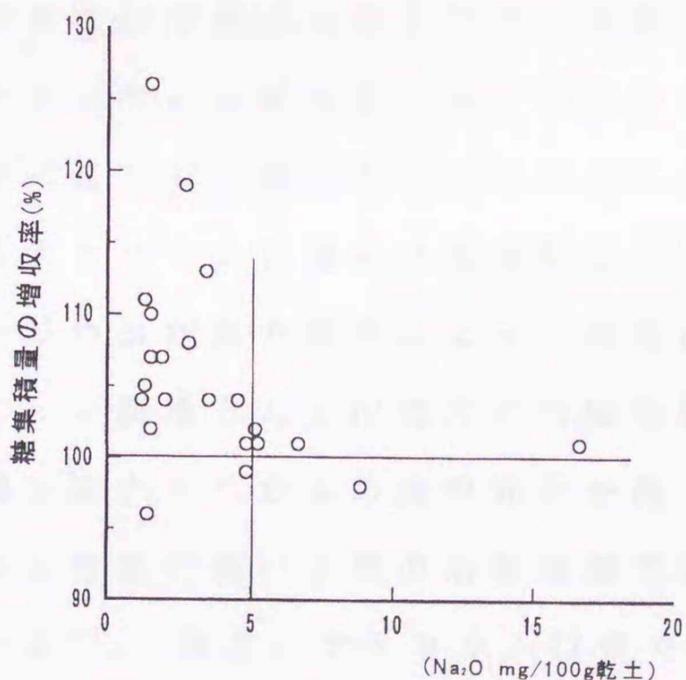
1992年から1996年に十勝地方の22の一般畑で実施したナトリウム施肥現地試験から、土壌の交換性ナトリウム含有率 $\text{Na}_2\text{Omg}/100\text{g}$ 乾土水準とナトリウム施肥による糖集積量の増加割合%の関係について検討した。

すべて移植栽培で、品種は「モノエースS」、「ハンナ」、「マイテ

イ」で、施肥は無窒素化成肥料S004を共通に使用した。その組成は $P_2O_5$ 20.0%、 $K_2O$ 14.0%、 $MgO$ 5.0%、 $MnO$ 0.6%、 $B_2O_3$ 0.3%である。窒素施肥量は $160\text{kgNha}^{-1}$ で、35%を硝酸態窒素、65%をアンモニア態窒素とし、硫酸アンモニウム、硝酸アンモニウムと尿素で、ナトリウム処理はチリ硝石の有無で調整し、移植直前に作条施肥した。

試験は1区4畦、畦幅60から66cm、畦長8mの2反復で実施した。移植は農家の移植機で行い、施肥処理以外はすべて農家慣行法である。土壌は7月上旬に畦間から表土20cmを採取し、シェーレンベルガー法により酢酸アンモニアで抽出し交換性ナトリウムを定量した。収穫は10月上旬に各区中央の2畦5mについて行い定法で調査した。

### 結果



第4-18区土壌の交換性ナトリウム水準と糖集積量に及ぼすナトリウムの施肥効果  
 増収率(%):ナトリウム無施用区に対する施用区の相対値(%)

土壤の交換性ナトリウム( $\text{Na}_2\text{O}$ )含有率とナトリウム施肥区の無施肥区に対する糖集積量の増加率(%)の関係を示す(第4-20図)。ナトリウム施肥区の増加率が無施肥区を下回ったのは3圃場のみであった。土壤の交換性ナトリウム含有率( $\text{Na}_2\text{O}$ )が100g乾土当たり5mg以下の場合に、ナトリウム含有率が低いほど糖集積量の増加率が明らかに上昇した。

### 考察

但野ら<sup>81)</sup>はテンサイはナトリウム要求性の高い作物であることを指摘している。本研究の結果、テンサイは $198\text{kg ha}^{-1}$ のナトリウムを施肥した場合でも硝酸の吸収が増え、葉面積が早期に増加し、根重と糖集積量が増加した。Burba<sup>4)</sup>はテンサイの代謝におけるカリウムとナトリウムの役割について総説しているがナトリウムが硝酸態窒素吸収を促進するとの指摘はない。テンサイにおけるナトリウム施肥による硝酸吸収促進の原因は、ナトリウムが移動性の高いカチオンとして、イオンバランスを計り、これにより硝酸吸収が速まると考えられる。さらにカリウムとナトリウム施肥の効果には相乗効果が認められ、ナトリウムは従来言われてきたカリウムの代替え作用に加え、テンサイにとって独自の効果のあることが示された。

土壤の交換性ナトリウム含量には地域間差が大きい。ナトリウムは海水中のナトリウムが風や雨雪によって陸地に運ばれるために、沿海地域で多く、十勝地方と上川地方の内陸地域では少ない。これらの内陸の地域ではナトリウムの施用効果が高い<sup>26,79)</sup>。一方、土壤の交換ナトリウム含量の高い十勝の沿海地域では施肥効果が出ないと報告されている<sup>21)</sup>。現在、ナトリウムは多くの作物にとって必須要素ではないことから肥料取締法に肥料の公定規格がなく、土壤診断基準がないが、本研究の結果、土壤の交換性ナトリウム( $\text{Na}_2\text{O}$ )含有率が100g乾土当たり5mg以下の場合には、ナトリウム施肥によるテンサイの糖集積量の増加が期待できる。

#### 第4節 窒素施肥効率に及ぼす移植時期の影響

第2章第3節で述べたように、早期移植は糖集積量を確実に増加させるが、増収には増肥が必要との考えから過剰な窒素施肥が行われる場合がある。そこで窒素増肥による増収効果と移植時期の早晩の効果を比較検討した。

##### 実験方法

1981年と1982年に帯広市と幕別町で、品種は「カーベメガモノ」、移植時期は標準移植と10日晩植えの晩期移植の2処理、窒素施肥量は0kg、80kg、160kg、240kgNha<sup>-1</sup>の4処理を設け栽培試験を行った。1981年の耕種概況は帯広と幕別の順に、標準移植区の播種は3月15日と23日、移植は5月2日と8日で、晩期移植区の播種は3月25日と4月4日、移植は5月15日と18日である。晩期移植区の播種と移植は約10日標準移植区より遅く、育苗日数はともに40日で、帯広は10月22日に、幕別は10月16日に収穫した。1982年の耕種概況は帯広と幕別の順に、播種は3月17日と19日で、1982年は移植時期の早晩に関わらず播種時期を同じにした。標準移植区の移植は4月30日と5月6日で、晩期移植区は5月13日と5月20日である。窒素施肥処理は両年とも共通で本章第1節で記載した無窒素化成肥料を共通肥料とし、硫酸アンモニウム、硝酸アンモニウムを用いて30%を硝酸態窒素、70%をアンモニア態窒素とし所定量を作条施肥した。施肥量は250kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、170kgK<sub>2</sub>O、80kgMgO、5.0kgB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、70kgNa<sub>2</sub>Oha<sup>-1</sup>である。試験は1区5畦、畦幅60cm、畦長は帯広が6.0m、幕別が5.4mとし分割区法4反復で行った。収穫は中央の3畦について行い定法で調査した。

##### 結果

移植時期と施肥窒素の根重に及ぼす効果を、試験地毎に2年纏め

て示した（第4-19図）。気象の影響を受けて1981年は根重が低く、1982年は根重が高い年であった。1981年は帯広、幕別ともに標準移植の80kgNha<sup>-1</sup>区の根重は、晩期移植160kgN、240kgNha<sup>-1</sup>区より高かった。1982年も帯広と幕別の標準移植の80kgNha<sup>-1</sup>区の根重は、晩期移植の160kgN、240kgNha<sup>-1</sup>区よりも明らかに高かった。糖含有率では、1981年は場所と移植の早晚による変異が小さかったが、1982年は場所間と帯広の移植時期による変異が大きかった。帯広では2年とも晩期移植区の糖含有率が低下したが、幕別では移植時期の違いによる差はなかった。糖集積量には年次間差が大きかったが、1981年の幕別の晩期移植区を除き、施肥窒素の糖集積量に対する影響は、移植時期が異なっても差がなかった。年次の影響を消去するため、各年の処理平均値に対する各区の相対値(%)について2年平均し窒素施肥量と移植時期の影響を示した(第4-11表)。0kgNha<sup>-1</sup>区以外の窒素処理については、標準移植区の根重と糖集積量は晩期移植区に比べ大きく増加した。糖含有率は施肥窒素の影響が大きいものの、標準移植区は根重が10%程度高い上に糖含有率もやや高かった。

第4-11表 移植時期と窒素施肥量が根重、糖含有率、糖集積量とK+N aに及ぼす影響\*

窒素 施肥量 kgha	根 重					糖 含 有 率				
	帯 広		幕 別		平均	帯 広		幕 別		平均
	標 植	晩 植	標 植	晩 植		標 植	晩 植	標 植	晩 植	
0	85	79	90	80	83	105	102	103	103	103
80	106	97	108	96	102	104	101	101	102	102
160	115	103	112	99	107	100	97	100	99	99
240	114	101	113	103	108	97	94	97	96	96
平均	105	95	106	94		103	102	99	96	

窒素 施肥量 kgha	糖 集 積 量					K + N a				
	帯 広		幕 別		平均	帯 広		幕 別		平均
	標 植	晩 植	標 植	晩 植		標 植	晩 植	標 植	晩 植	
0	89	80	93	82	86	93	95	94	95	94
80	111	98	109	98	104	90	99	98	95	95
160	115	100	112	97	106	98	108	98	103	102
240	111	96	109	99	104	102	117	107	108	108
平均	106	94	106	94		96	104	100	100	

\* 各場所別に、全処理区の平均に対する各処理の百分率を2年平均値で示した。

## 考察

晩期移植による糖集積量の低下を窒素の増肥で補うことはできなかった。移植遅延日数と糖集積量の低下率(%)は、1981年の帯広では13日で10%、幕別では10日で20%、1982年の帯広では13日で12%、幕別では14日で8%それぞれ減収した。この4つの試験の平均値から計算すると、移植日の1日の遅れは、1.1%の糖集積量の低下をもたらした。一方窒素肥料の施肥効果を窒素 $0\text{kgNha}^{-1}$ に対する $80\text{kgNha}^{-1}$ の効果で表してみると、1981年の帯広では18%、幕別では23%、1982年の帯広では19%、幕別で8%となり、窒素1kg当たり平均で2.1%の糖集積量が増加しており、2日の移植日の違いは窒素肥料1kgの施肥効果に相当した。

## 第5節 窒素施肥量が収穫時期の糖集積量の推移に及ぼす影響

窒素施肥量の違いが、9月下旬から10月下旬にかけて移植テンサイの生育と糖集積量に及ぼす影響を検討した。

### 実験I 窒素施肥量と収穫期の生育と糖集積量の推移

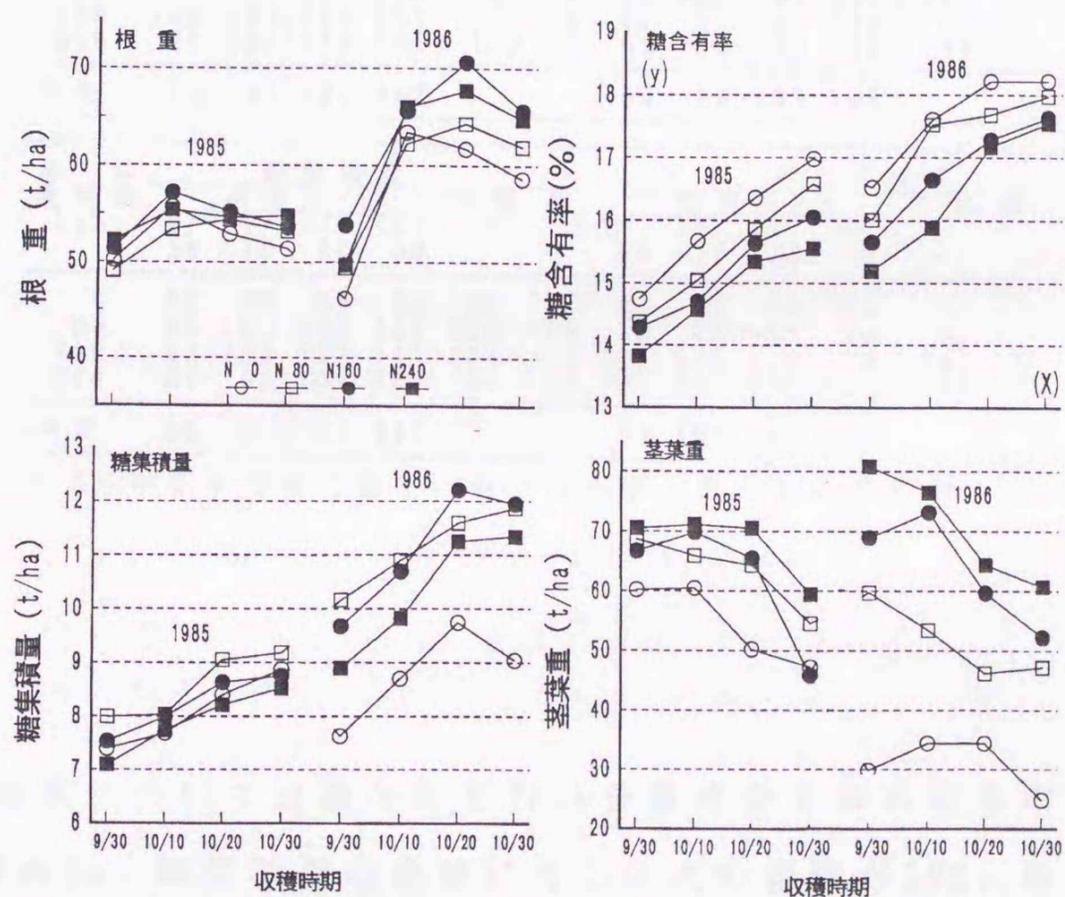
#### 実験方法

1985年と1986年に帯広市で、窒素施肥量 $0\text{kg}$ 、 $80\text{kg}$ 、 $160\text{kg}$ 、 $240\text{kgNha}^{-1}$ の4処理を設け、10月1日、11日、21日、31日の4時期に収穫調査を行った。品種は「モノエース」で、1985年と1986年の順に、播種は3月22日と25日、移植は5月2日と4月29日である。窒素施肥は30%を硝酸態窒素、70%をアンモニウム態窒素とし、硫酸アンモニウム、硝酸アンモニウムと尿素で調整し、窒素以外の要素は本章第1節で記載した無窒素化成肥料を共通に用いて、 $250\text{kgP}_2\text{O}_5$ 、 $175\text{kgK}_2\text{O}$ 、 $60\text{kgMgO}$ 、 $7.5\text{kgMnO}$ 、 $3.7\text{kgB}_2\text{O}_3\text{ha}^{-1}$ を作条施肥した。施肥処理以外は慣行法で管理し、試験は1区5畦、畦幅60cm、畦長6.0mの乱塊

法6反復で行った。収穫は各時期に1区から15本を抜取り、2反復分を1点として調査分析し3反復試験として取りまとめた。

### 結果

根重の推移を窒素施肥量別に2ヶ年の結果を示す(第4-20図)。1985年の根重は1986年より低く、増加割合も小さかった。根重の増加割合には2年とも窒素施肥量の違いによる差はなかった。糖含有率では2年とも、すべての収穫時期で窒素施肥量が多いほど低かった。糖含有率は1985年は低く1986年は高かった。低い糖含有率であった1985年の糖含有率の上昇割合は1986年より高かった。



第4-22図窒素施肥量と収穫時期が根重、糖含有率

#### 糖集積量と茎葉重に及ぼす影響

糖含有率の推移を窒素施肥量別に糖含有率(Y)を従属変数(Y:10月20日の数値を100とする)、収穫月日(X)を独立変数として(10月1日を0とする)一次回帰式で示すと、その勾配である回帰係数は、0kg N, 80kgN, 160kgN, 240kgNha<sup>-1</sup>の順に、糖含有率が低かった1985年に

は0.50, 0.47, 0.42, 0.38と窒素施肥量が多いほど糖含有率の上昇割合が小さかった。逆に糖含有率が高かった1986年には0.30, 0.34, 0.37, 0.49と窒素施肥量が多いほど, また糖含有率が低いほど糖含有率の上昇割合は急であった。糖集積量に及ぼす窒素施肥量の影響は, 糖集積量が少なかった1985年は小さく, 糖集積量が多かった1986年には大きかった。

第4-12表 窒素施肥量と収穫時期が根重、糖含有率、糖集積量とアミノ態N含有率に及ぼす影響\*

窒素 施肥量 kg/ha	根 重					糖 含 有 率						
	収 穫 月 / 日				平 均	幅	収 穫 月 / 日				平 均	幅
	9/ 30	10/ 10	10/ 20	10/ 30			9/ 30	10/ 10	10/ 20	10/ 30		
0	85	86	92	90	88	7	96	102	107	109	104	13
80	104	101	107	106	105	6	94	100	103	106	101	12
160	100	104	109	107	105	9	92	97	101	104	99	12
240	96	101	104	105	102	9	89	94	100	102	96	13
平均	96	98	103	102			93	98	103	105		

窒素 施肥量 kg/ha	糖 集 積 量					アミノ態N含有率						
	収 穫 月 / 日				平 均	幅	収 穫 月 / 日				平 均	幅
	9/ 30	10/ 10	10/ 20	10/ 30			9/ 30	10/ 10	10/ 20	10/ 30		
0	82	89	99	98	92	17	46	47	58	51	51	12
80	98	102	111	114	106	16	79	79	81	94	83	15
160	93	101	112	111	104	19	115	126	120	108	117	18
240	87	95	105	107	98	20	147	165	140	141	148	25
平均	90	96	106	107			97	104	100	99		

\* 2ヶ年の平均値で表す。幅は最大値と最小値の差である。

### 考察

糖集積量について分散分析を行い分散成分を求め寄与率を示した(第4-16表)。糖集積量の変動に対し年次の影響が59%と最も高く, 窒素施肥は10%, 収穫時期は14%, 年次と施肥の交互作用は11%であった。

年次の影響が大きいことから, 年次間差を消去し各形質に対する窒素施肥と収穫時期の影響を比較するため, 各年の全区の平均値に対する相対値割合%について分散分析を行った(第4-16表)。その結果,

根重に対する収穫時期と窒素施肥の影響をみると、施肥の影響が大きかった。糖含有率では、収穫時期と窒素施肥に交互作用はなかった。すなわち10月1日の糖含有率の窒素施肥量による順位は、どの収穫時期でも変わらなかった。糖集積量では施肥より収穫時期の影響が大きかった。アミノ態窒素含有率は収穫時期では変化がなく、窒素施肥の影響のみを受け極めて興味のある結果であった。

収穫時期と窒素施肥量の影響を2ヶ年の平均値で示す(第4-16表)。4形質についてはいずれも窒素施肥と収穫時期には交互作用はなかった。糖含有率では、低糖含有率の年と高糖含有率の年で糖含有率の上昇割合には差があるが、窒素施肥と収穫時期の影響はそれぞれ独立していた。アミノ態窒素含有率の平均値について、窒素0kgN ha<sup>-1</sup>区との差を取り幅として表すと、窒素施肥量と完全に一致した。移植テンサイにおける作条施肥の安定した窒素利用率を示している。

第4-13表 糖集積量の分散分析

変動因	自由度 f	平均平方 MS	F値 F	分散成分 %
主効果				
年次 Y	1	36.937	518.2**	59.0
施肥 F	3	3.264	45.8**	9.5
収穫日 D	3	5.011	70.3**	13.9
交互作用				
Y*F	3	1.961	27.5**	11.2
Y*D	3	0.361	5.1*	3.2
F*D	9	0.037	0.5	1.8
誤差	9	0.071		1.4

第4-14表 各調査値の分散分析\*

変動因	f	根重		糖含有率		糖集積量		アミノ態 N	
		MS	F	MS	F	MS	F	MS	F
主効果									
年次 Y	1	0		0		0		0	
施肥 F	3	493	117**	78	30**	330	46**	14251	97**
収穫日 D	3	84	20**	235	90**	557	77**	83	1
交互作用									
Y*F	3	162	38**	1	0	179	25**	1693	12**
Y*D	3	18	4*	4	1	20	3	51	0
F*D	9	5	1	1	0	4	1	157	1
誤差	9	4		3		7		147	

\*年次の効果を消去するため、各年の全区平均値に対する相対値(%)について計算した。

## 実験 II 品種，窒素施肥量と収穫期の糖含有率の推移

窒素多肥条件における中間型品種の糖含有率へ及ぼす影響を調査する。

### 実験方法

1983年に帯広市で，品種は根重型の「カーベメガモノ」（以下メガモノと略記）と中間型系統の「J137」の2品種で，窒素施肥量は標準施肥の $160\text{kgNha}^{-1}$ 区と，追肥により $80\text{kgNha}^{-1}$ 増肥した $240\text{kgNha}^{-1}$ 区の2処理による栽培試験を行った。9月30日から10月30日まで10日置きに4回収穫調査を行った。播種は3月22日，移植は5月2日である。施肥はS150を $1,500\text{kg}ha^{-1}$ 作条施肥した。要素量は $225\text{kgP}_2\text{O}_5$ ， $150\text{kgK}_2\text{O}$ ， $105\text{kgMgO}$ ， $15\text{kgMnO}$ ， $7.5\text{kgB}_2\text{O}_3ha^{-1}$ である。窒素増肥区の追肥は5月26日に硫酸アンモニウムとチリ硝石で $80\text{kgNha}^{-1}$ を株間の表層に施肥し軽く土壌攪拌をして行った。試験は1区5畦，畦幅60cm，畦長6.0mとし乱塊法3反復で実施した。収穫は中央の3畦1.0mについて行い定法で調査した。

### 結果

糖含有率では，中間型品種J137は9月30日に「メガモノ」より，6%糖含有率相対値が高く，窒素増肥区も同様に5%高く、10月30日まで同じ品種間差で推移した。「J137」の窒素増肥区の糖含有率と「メガモノ」の標準窒素施肥の糖含有率が同水準であった(第4-15表)。根重では，根重型品種の「メガモノ」が中間型系統「J137」より根重が高く推移し，窒素増肥区もやや高く推移した。糖集積量では，標準窒素施肥の両品種ともに9月30日から10月10日に増加割合が高く，窒素増肥区を上回り10月30日に至った。

第4-15表 品種、窒素施肥量、収穫時期が  
糖集積量に及ぼす影響

品種 施肥量 (N) kg/ha	根 重					品種変動 施肥幅 効果	根中糖分					品種変動 施肥幅 効果
	収穫月日						収穫月日					
	9/	10/	10/	10/			9/	10/	10/	10/		
	30	10	20	30		30	10	20	30			
MM 160	94	100	103	106	101	12	90	100	103	105	99	15
MM 240	97	102	105	110	103	13	89	95	100	100	96	11
137 160	89	98	97	101	96	12	96	104	110	110	105	14
137 240	96	100	100	103	100	7	94	98	104	104	100	12
時期効果	94	100	100	105		9	92	98	104	105		13

品種 施肥量 (N) kg/ha	糖集積量					品種変動 施肥幅 効果	茎 葉 重					品種変動 施肥幅 効果
	収穫月日						収穫月日					
	9/	10/	10/	10/			9/	10/	10/	10/		
	30	10	20	30		30	10	20	30			
MM 160	84	99	106	111	100	27	116	108	93	71	97	45
MM 240	86	96	105	110	99	24	119	111	104	86	105	33
137 160	85	102	106	110	101	25	105	100	92	71	92	34
137 240	90	98	104	108	100	18	116	113	116	80	106	36
時期効果	86	99	105	109		23	114	108	101	77		37

MM:カーベメガモノ、137: J-137

### 考察

分散分析表の結果，品種，施肥，収穫期の要因間に交互作用はなくそれぞれ独立した効果を示した(第4-16表)。今回供試した2品種の場合，根重型品種と中間型品種の特性が良く表れていた。中間型系統「J137」の根重は低かったが糖含有率は高く，糖集積量の差はほとんどなかった。「J137」は一般の製糖開始時期である10月20日に「メガモノ」より相対値割合で7%高く，製糖原料として好適であることを示した。各処理区の全区の平均値に対する相対値割合%を示すと，「J137」に対する窒素増肥は茎葉重を増加させたが，糖含有率は低下し、低下の割合は「メガモノ」よりやや大きかった。したがって高い糖集積量を得る目的で，糖含有率の高い中間型品種に対する窒素増肥の効果は期待できないことを示唆した。

第4-16表 各調査値の分散分析

変動因	f	根 重		糖含有率		糖集積量		茎葉重	
		MS	F	MS	F	MS	F	MS	F
主効果									
品種 V	1	41.4	6.5**	5.85	12.3**	0.03	0.2	18	0.4
施肥 F	1	28.8	4.6*	4.53	9.5**	0.03	0.2	521	12.4**
収穫日 D	3	53.7	8.5**	8.88	18.6**	5.79	29.3**	1107	26.3**
交互作用									
V*F	1	0.6	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	40	0.9
V*D	3	2.9	0.5	0.0	0.1	0.1	0.3	27	0.7
F*D	3	1.4	0.2	0.2	0.3	0.1	0.6	25	0.6
誤差	33	6.3		0.5		0.2		42	

## 第6節 まとめ

窒素肥培管理の要点は、基準糖分(16.8%)以上の糖含有率を前提に、単位面積当たりの糖集積量を最も高くする施肥窒素量を予め予測することである。

著者はその目的のために、まず無窒素化成肥料を用い、リン酸量を農家慣行に合わせて移植栽培する本畑無窒素栽培を多数の一般圃場で行った。この方法により窒素地力の多少について、生育期間中は地上部の観察から、収穫時には慣行区と無窒素区の根重の比較から把握することができた。本研究では慣行窒素施肥区に対する無窒素区の根重割合を無窒素根重指数と定義して論議をしているが、無窒素根重指数には地域間差が認められ、芽室製糖所区域(十勝地方)で高く、美幌製糖所地域(網走地方)が次に高く、士別製糖所地域(上川、空知地方)は低かった。テンサイの窒素吸収量にも地域間差が認められ、非光合成器官である葉柄と冠部重が芽室で多く、士別では明らかに少ない特徴があった。慣行区の窒素吸収量から無窒素区の窒素吸根重を差し引いて、慣行区の窒素施肥量で除し、窒素肥料の利用率を西宗の知見を加えて求めたところ、芽室75%、美幌60%、士別45%と地域による差があった<sup>32,33)</sup>。

そこで、無窒素栽培により得た慣行区の根重および無窒素区の根重割合から、施肥由来の窒素吸根重を求め、その窒素吸収量が期待できる目標窒素施肥量を地域別の窒素利用率に応じて求める表を作成した。一例として、慣行区の根重が $65\text{t ha}^{-1}$ で、無窒素根重指数が80%の場合、目標窒素施肥量は芽室では $170\text{kg N ha}^{-1}$ 、美幌では $180\text{kg N ha}^{-1}$ 、士別では $200\text{kg N ha}^{-1}$ となる。この施肥量を慣行窒素施肥量 $\text{kg N ha}^{-1}$ と比較することにより、窒素施肥診断に活用することができる。

無窒素根重指数に影響する耕種条件について調査した結果、3地

域とも低地土で地力指数が高く，窒素地力の相対的に低い土別では，堆厩肥の施用で無窒素根重指数が高くなった。前作物ではテンサイとトウモロコシの場合に無窒素根重指数が高く，麦類で低い傾向があった。

帯広，幕別，美幌，土別の4圃場で3年間，過剰な窒素施肥量( $300\text{kgNha}^{-1}$ )を含む窒素施肥試験を行い，生育経過を調査した結果，窒素 $200\text{kgNha}^{-1}$ 以上の施肥をしても，光合成を担う葉身の成長が速くなることはなく，多肥処理により生育後半に茎葉の競合が強くなり，菜根に集積する糖が茎葉の成長に使われるため，糖集積量が低下すると考えられた。とくに十勝でその傾向が強く，原因として降水量が多いこと，土層が厚く土壌腐植が多いこと，土壌水分保持量が多いことなどが考えられた。

糖含有率を評価して原料取引をする新制度導入に当たり，地域別の最適窒素診断法を組立てるため，窒素施肥試験を帯広，幕別，美幌，土別の4圃場で8年間行った。その結果，製糖原料として望ましい17%以上の糖含有率を達成するためには，8月下旬の地上部の窒素含有率は2.5%以下，根部は0.75%以下である必要があった。糖集積量が最大となる窒素施肥量は，根重が最大となる施肥量に比べ，土壌により $18\text{kg}$ から $33\text{kg ha}^{-1}$ 少なかった。施肥窒素量と菜根中のアミノ態窒素含有率に極めて高い相関があること，収穫期のアミノ態窒素含有率と糖集積量の関係から， $1.0\text{meq}/100\text{gFM}$ 以下では窒素不足， $1.0$ から $2.5\text{meq}/100\text{gFM}$ は適正範囲， $2.5\text{meq}/100\text{gFM}$ 以上は窒素過剰を現していた。

このアミノ態窒素含有率と糖集積量と関係を検証するため，多数の一般農家テンサイについて調査したところ，実験Ⅱと同様な関係を確認することができた。したがってアミノ態窒素含有率を，次年度の適正な窒素施肥診断に活用できることがわかった。

ナトリウム施肥によりテンサイの硝酸吸収が促進し，茎葉の成長

が速くなり、糖含有率が低下することなく糖集積量が増加した。分散分析の結果、糖集積量に対するナトリウムの施肥効果は、2ヶ年の試験ともカリウムの施肥量に影響を受けることなく認められた。

ナトリウムの施肥効果が期待できる土壤の交換性ナトリウム含有率( $\text{Na}_2\text{O}$ )は $5\text{mg}/100\text{g}$ 乾土以下であると示唆された。

移植時期の早晩と窒素施肥反応について試験した結果、移植の早晩により施肥窒素の応答曲線には差はなかったが、糖集積量に対して、窒素施肥に比べて移植時期の影響が大きく、2日の移植日の違いは窒素 $1\text{kg}$ の効果に相当した。

窒素施肥量の多少は登熟期の糖含有率の推移に影響を及ぼし、糖含有率が低い年には、窒素施肥量が多いほど糖含有率の上昇割合が小さく、糖含有率が高い年には、窒素施肥量が多く糖含有率が低いほど糖分上昇割合が大きかった。根重型の品種と糖含有率の高い中間型品種を用い、窒素多肥条件における糖含有率の推移を検討した結果、品種、窒素施肥、収穫時期それぞれ独立した影響を示し、高い糖集積量を得る目的で、糖含有率の高い品種に窒素増肥することは効果がないことがわかった。

## 第5章 リン酸肥培管理法

移植栽培が普及する以前には、十勝の火山性土に生育するテンサイにとって、稚苗期の酸性障害とリン酸欠乏は発生頻度の高い生理障害であった<sup>74)</sup>。しかし、紙筒移植栽培の導入によって、移植後のリン酸欠乏は見られない状況にある。その要因としては、全栄養素を含み、育苗土のpHを6.0前後に維持する肥料を配合した育苗専用肥料がほぼ100%普及したことと、移植時期の低温抵抗性を高めるために、リン酸を高濃度に含有させたリン酸増肥育苗の効果が大きいと考えられる。本章では紙筒育苗専用肥料の開発に関して行った一連の試験について検討する。

### 第1節 リン酸増肥育苗法

十勝地方、網走地方、上川地方の一般農家が使用している育苗土壌を使ってリン酸増肥育苗を行い、紙筒苗の生育を促進して発芽率を落とさない範囲のリン酸増肥量を検討する。

#### 実験I リン酸増肥用量育苗試験

##### 実験方法

1974年に帯広市で育苗試験を行った。共通の育苗肥料として育苗土2.4m<sup>3</sup>当たり(1ha分84,000本の紙筒の総容量)1.0kgN, 1.5kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0.5kgK<sub>2</sub>Oを施肥した。リン酸増肥処理は、これにリン酸(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)として0kgから50kgまで5処理を設け、熔成リン肥と過リン酸石灰を重量で3:1の割合で施肥した。試験規模は1区紙筒2冊の2,800本とし、品種は「カーベポリ」で3月26日に播種し、5月9日に育苗調査を行った。

第5-1表 リン酸増肥用量育苗試験における土壌分析結果

増肥リン酸 $P_2O_5$ kg ha <sup>-1</sup>	pH(H:O)				Truog-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)				EC(mS/cm)			
	芽室	美幌	士別	平均	芽室	美幌	士別	平均	芽室	美幌	士別	平均
0*	6.0	6.1	6.1	6.1	51	81	107	86	0.50	0.52	0.45	0.48
5	6.0	6.1	6.2	6.1	105	177	206	171	0.74	0.83	0.69	0.73
10	6.1	6.2	6.2	6.2	163	253	315	259	1.00	1.03	0.95	0.98
30	6.3	6.4	6.4	6.4	376	552	620	536	1.64	1.60	1.36	1.49
50	6.4	6.4	6.4	6.4	534	763	856	744	1.84	1.82	1.46	1.65
原土	5.8	5.9	5.7	5.8	12	18	25	20	0.16	0.17	0.14	0.15

第5-2表 リン酸増肥用量育苗試験における紙筒苗の  
発芽率、主根長、葉重、根重

増肥リン酸 $P_2O_5$ kg ha <sup>-1</sup>	発芽率(%)				主根長(cm)			
	芽室	美幌	士別	平均	芽室	美幌	士別	平均
0	77.3	83.3	83.8	81.8	11.3	11.2	11.0	11.1
5	81.4	82.6	82.5	82.2	11.3	9.7	10.6	10.7
10	81.8	84.4	82.4	82.6	11.6	9.2	10.5	10.6
30	83.9	83.9	81.5	82.7	11.2	10.0	10.0	10.3
50	83.3	80.2	81.2	81.6	10.8	8.5	9.5	9.7

増肥リン酸 $P_2O_5$ kg ha <sup>-1</sup>	葉部新鮮重(g/100本)				根部新鮮重(g/100本)			
	芽室	美幌	士別	平均	芽室	美幌	士別	平均
0	63.0	58.1	48.8	54.7	9.89	10.20	9.11	9.55
5	69.9	58.5	53.6	59.3	10.40	9.09	9.48	9.67
10	72.6	62.5	56.4	62.3	10.41	8.85	10.19	9.99
30	74.0	60.1	54.4	61.2	9.81	9.44	10.37	10.03
50	74.4	58.1	53.1	60.2	10.16	10.23	10.48	10.34

## 結果

リン酸量が増えるほど育苗土のpH(H<sub>2</sub>O),トルオーグ法による有効態リン酸、電気伝導度(EC)はそれぞれ上昇した(第5-1表)。30kg ha<sup>-1</sup>以上の施肥量の場合には、特に褐色森林土の土別土壤で発芽率と紙筒内の主根長の長さが低下した。葉部新鮮重は火山性土の芽室土壤では50kgまで増加傾向を示したが、土別土壤は30kg以上で低下した。根部新鮮重は、葉部とは逆に、土別土壤ではリン酸増肥する程増加した(第5-2表)。

## 考察

リン酸を30kg以上増肥する場合に発芽率と生育が抑制される土壤があり、ECは1.5mS/cm以上であった。したがって10kg ha<sup>-1</sup>程度がリン酸増肥量として適量である。育苗土pHが高いとそう根病、低いと紙筒特有の苗枯病の発生に関係することから、pH6.0前後が適切であり、溶性リン肥や過リン酸石灰等のリン酸肥料を組み合わせることにより調節が可能である<sup>63)</sup>。

## 実験II リン酸増肥育苗現地試験

### 実験方法

十勝、網走、上川の各地方の多様な育苗土と育苗管理条件においてリン酸増肥育苗が収穫期の根重と糖含有率に及ぼす影響を調査した。1969年と1970年に十勝地方で24ヶ所、網走地方で13ヶ所、空知地方で5ヶ所、上川地方で29ヶ所の合計71ヶ所で現地試験を行った。リン酸増肥量は、育苗土2.4m<sup>3</sup>当たり(1ha相当)P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>として30kgを溶性リン肥と過リン酸石灰を重量比2:1で混合し施肥した。1区面積は8-9aである。本畑に対する施肥量は平均で、窒素210kgN ha<sup>-1</sup>、リン酸281kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>、加里190kgK<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>である。品種は「カーベポリ」、紙筒播種は4月上旬、移植は5月上旬から中旬で、収穫は10月上旬に行った。収穫は各区について1区1畦、畦長6mの対角線

5箇所について行った。

## 結果

収穫調査の結果，平均値で見るとリン酸増肥育苗はどの土壌でも根重が増加し，糖含有率に差がなく糖集積量が増加した(第5-3表)。

表5-3 リン酸増肥育苗が根重、糖含有率、糖集積量に及ぼす影響

土壌の種類	戸数	根重 (tha <sup>-1</sup> )			糖含有率 (%)			糖集積量 (tha <sup>-1</sup> )		
		標準	増肥	差	標準	増肥	差	標準	増肥	差
火山性土	33	42.8	44.9	2.1**	15.84	15.63	-0.21*	6.78	6.97	0.19NS
低地土	12	45.8	48.1	2.3**	15.47	15.44	-0.03NS	7.05	7.40	0.35**
褐色森林土	26	43.2	44.1	0.9NS	16.48	16.52	0.04NS	7.16	7.31	0.15NS
合計	71	43.4	45.1	1.4	16.01	15.92	-0.09	6.96	7.16	0.20

\*, \*\*: t検定における1%、5%水準の有意性を示す

## 考察

試験を行った71戸の農家の本畑に対する施肥リン酸(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)量は，施肥標準である250kg ha<sup>-1</sup>以上 (n=71, 281kg ± 50kg) であったが，リン酸増肥育苗の効果が認められた。テンサイの全生育期間におけるリン酸吸収量は，窒素の50%から30%と少ないが<sup>64,65)</sup>，この試験のように稚苗期のリン酸増肥の効果は高く，育苗時に十分リン酸を経済的に施肥できる移植栽培では，直播栽培とは異なり，本畑施肥リン酸量を減らせる可能性を示唆している。

## 実験Ⅲ 育苗専用肥料育苗試験

1975年に，リン酸増肥育苗肥料を日産化学工業(株)と共同で開発した。この育苗肥料を施肥した場合の，育苗土の化学性の変化と，苗の生育に及ぼす影響を調査した。

## 実験方法

この育苗複合肥料1号の組成はN2.0(NO<sub>3</sub>-N1.0)%，クエン酸可溶性

$P_2O_5$ 18.0%，水溶性 $P_2O_5$ 3.0%，水溶性 $K_2O$ 1.0%，クエン酸可溶性 $MgO$ 5.0%，水溶性 $B_2O_3$ 0.08%，クエン酸可溶性 $MnO$ 0.20%で，標準施肥量は育苗土 $2.4m^3$ （1ha相当）に対して50kgである。したがって，ha当たりの成分量は $N$ 1.0kg， $P_2O_5$ 9.0kg， $K_2O$ 0.5kg， $MgO$ 2.5kg， $B_2O_3$ 0.04kg， $MnO$ 0.1kgで，この他にテンサイの有用元素である $Na_2O$ 1.0kgを含んでいる。リン酸の増肥量は従来の標準 $P_2O_5$ 量であるha当たり1.5kgに対し6倍の9.0kgである。

供試土壌は褐色森林土と火山性土で、育苗肥料の施肥量は育苗土 $2.4m^3$ （1ha相当）当たり0kg，12.5kg，25kg，50kgの4処理である。1区紙筒400本とし，1975年に通常のビニールハウスで育苗試験を行った。紙筒への播種は3月24日に，苗の調査は5月6日に行った。

土壌分析方法は，硝酸態窒素は水抽出でイオン電極法，アンモニア態窒素は塩化カリ抽出で蒸留法，リン酸はトルオーグ法，交換性塩基は酢酸アンモニア抽出法，pHは水抽出で電極法である。

### 結果

土壌と育苗肥料を混合直後に採取して，常法で土壌の化学性を定量した。標準の50kg施用の場合，無機態窒素は褐色森林土で26mg，火山性土で33.5mgそれぞれ増加した。有効態リン酸は，100g乾燥土壌当たり褐色森林土で93mg，火山性土で60mg増加した。紙筒苗の生重は葉部，根部とも標準量である50kg施用区が高かった（第5-4，5-5表）。

### 考察

1983年に，育苗土の確保元について830戸の農家で調査している。その結果，畑地から採取した農家が63%，非農耕地からが31%，その他が6%であった。畑以外から採取される土壌のpHとリン酸含量は，極めて低い場合が多いが，本リン酸増肥育苗肥料には，育苗土のpHが6程度に維持できるように，複数のリン酸肥料を使用している。

育苗土壌の目標pHは6.0である。その理由は、6.5以上ではそう根病誘発の懸念があり<sup>42)</sup>、5.5以下では紙筒育苗に特有の病害である苗枯病の発生が起こり易いため<sup>40,41)</sup>である。

リン酸増肥育苗肥料は、リン酸肥料に加え、土壌改良効果のある腐植酸を組み合わせ、施用土壌のpHが原土より0.3から0.5ほど高く、育苗期間中のpH変動が少なく、6.0前後に推移するように設計した。1978年から1980年の3年間、育苗終了時の紙筒内土壌のpHを調査したところ、各製糖所の地域とも好適なpH水準にあることを確認している。

第5-4表 リン酸施肥量が苗の新鮮重とP含有率に及ぼす影響

土壌	育苗肥料 kg ha <sup>-1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>	新鮮重 (g/100本)		P含有率 (%)	
			葉部	根部	葉部	根部
褐色	0	0	8.6	2.3	0.73	0.69
森林土	12.5	1.5	39.0	3.7	2.19	1.65
	25	4.5	67.0	5.6	2.54	1.82
	50	9.0	67.0	8.8	3.62	1.95
火山性土	0	0	13.0	2.8	0.56	0.26
	12.5	1.5	59.1	4.4	1.34	0.97
	25	4.5	84.0	4.8	1.87	1.45
	50	9.0	121.0	7.3	2.65	1.87

第5-5表 リン酸増肥育苗肥料による育苗土の化学性 (mg/100g乾土)

育苗土壌	施肥量 kg ha <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	Truog P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	交換性塩基				pH (H <sub>2</sub> O)
					CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	
褐色	0	0.6	3.5	10	252	17	18	6	5.5
森林土	8.2	6.1	5.6	36	254	26	23	21	5.6
	25.0	13.1	8.2	54	262	34	26	39	5.7
	50.0*	22.2	12.2	103	291	55	34	73	5.8
火山性土	0	0.3	3.8	2	465	35	34	8	6.1
	8.2	5.1	4.2	14	454	46	40	39	6.1
	25.0	11.4	5.9	27	465	60	48	63	6.2
	50.0*	28.2	9.4	62	469	87	64	139	6.3

\*標準施肥量

増田<sup>59)</sup>らは紙筒移植苗の健苗育成のために，チリ硝石，硫酸アンモニウム，過リン酸石灰，硫酸加里の最適施用量を明らかにした。続いて肥料切れ対策として魚粕の効果を確認し<sup>60)</sup>，これらの知見をもとに，1965年に，テンサイ専用育苗肥料特1号を開発し，広く農家に利用されるようになった。さらに，実験Ⅰで述べたように移植後の生育促進を図ったリン酸増肥育苗を「栄養強化育苗」と命名した<sup>61)</sup>。次に実験Ⅱで述べたように，とくに火山性土において，リン酸の増肥効果が高いことが明らかとなったことから<sup>19)</sup>，1972年には北海道東部地域の火山性土を対象とした，リン酸(30kg)栄養強化育苗肥料を開発した。1975年には，実験Ⅲの通り，全道を対象としてリン酸(9kg)強化育苗肥料を開発し，移植の全農家が使用している。

## 第2節 育苗時にリン酸を増肥したテンサイの本畑におけるリン酸施肥反応

リン酸増肥育苗肥料でテンサイを育苗すると本畑において必要なリン酸量が現在の施肥標準量より少なくても良い可能性が考えらる。そこで十勝地方を中心に現地試験を実施した。

### 実験方法

1980年から1983年の4ヶ年間，十勝地方で27ヶ所，上川地方で7ヶ所，宗谷と空知地方で各1ヶ所の合計36ヶ所の一般畑でリン酸施肥試験を行った。紙筒育苗土にリン酸増肥肥料で $9\text{kgP}_2\text{O}_5\text{ha}^{-1}$ のリン酸を施肥した。本畑におけるリン酸施肥量は $0\text{kg}$ ， $125\sim 150\text{kg}$ ， $250\sim 300\text{kg}$ ， $375\text{kg}$ ， $500\text{kgP}_2\text{O}_5\text{ha}^{-1}$ で，硫酸アンモニウム，硝酸アンモニウム，尿素，重過石，苦土過リン酸石灰，硫酸カリウム，硫酸マグネシウム，FTEを調整して所定量を作条施肥した。リン酸以外の成分は， $160\text{kg}\sim 180\text{kgNha}^{-1}$ ， $160\text{kg}\sim 200\text{kgK}_2\text{Oha}^{-1}$ で $\text{MgO}$ と $\text{B}_2\text{O}_3$ も施肥した。施肥以外の管理は各農家の慣行法で行った。試験は1区6畦，畦幅

60~66cm, 畦長6~8mとし乱塊法3反復で行った。収穫は中央の4畦の畦長4mについて行い常法で調査した。

第5-6表 試験畑土壌のpHと有効態リン酸含有率mg/100g乾土(N=36)

項目	平均	最大	最小	標準偏差
pH(H:0)	5.5	6.3	4.9	0.4
Truog-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	23.6	96.0	3.5	22.6

### 結果

各調査値を250kg~300kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>ha<sup>-1</sup>区に対する相対値(%)で表し, 平均値と標準偏差で示した(第5-7表)。根重は本畑リン酸が無施肥の場合でも1%しか低下せず, リン酸施肥量に伴う根重の増加はほとんどなかった。各リン酸施肥量区における標準偏差が小さく, 各試験畑とも本畑施肥リン酸に対し同様な反応であることを示した。糖含有率はリン酸施用区でわずかに低下し, リン酸無施肥区以外の処理間差はなかった。したがって糖集積量はリン酸無施用区でやや減少し, 125kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>ha<sup>-1</sup>以上のリン酸施肥の効果はなかった。

第5-7表 育苗時にリン酸を増肥したテンサイの本畑におけるリン酸施肥反応(N=36)

施肥量 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>	根 重		糖含有率		糖集積量	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
0	98.7 ± 6.0		98.8 ± 2.5		97.6 ± 0.1	
125~150	100.9 ± 5.1		100.1 ± 2.1		101.0 ± 0.1	
250~300*	100.0		100.0		100.0	
375	101.6 ± 5.5		100.0 ± 2.2		101.7 ± 0.1	
500	101.9 ± 6.2		99.8 ± 2.3		101.7 ± 0.1	

\*標準区の実数

根 重 56.8 ± 1.0tha<sup>-1</sup>  
糖含有率 15.65 ± 1.51 %  
糖集積量 8.89 ± 1.8tha<sup>-1</sup>

収穫時におけるリン酸含有率を調査した結果(第5-8表), 本畑リン酸施肥量が多いほどリン酸含有率が高かった。施肥リン酸の場合も窒素と同様に, 多肥により無駄なリン酸吸収が行われていると考えられる。

第5-8表 育苗時にリン酸を増肥したテンサイの  
収穫時におけるリン(P)含有率(N=25)

施肥量 $P_2O_5$ kg ha <sup>-1</sup>	茎葉部		根 部	
	P (%)	相対値 (%)	P (%)	相対値 (%)
0	0.203	88	0.118	87
125~150	0.220	93	0.125	93
250~300*	0.237	100	0.135	100
375	0.252	106	0.140	104
500	0.255	108	0.148	110

### 考察

北海道農業においては酸性矯正とリン酸肥沃度向上が耕地改良の柱になってきた<sup>9,14,18,28)</sup>。北海道の主要畑作地帯ではリン酸固定力の大きい火山性土の分布が多く, 各作物ともにリン酸欠乏のために初期生育が遅延することが多い。これを回避するため作物の吸収するリン酸の4から5倍のリン酸を施肥するのが, 北海道の施肥標準の基礎になっている<sup>17)</sup>。

紙筒移植テンサイの場合には約45日の育苗中, ビニールハウス内で日平均温度10℃が保持され<sup>46)</sup>, 育苗肥料の施肥によって, 適正な土壤養分状態が確保されること, とくに, どのような土壤を育苗土として用いても, 施肥によりトルオーグ法による有効態 $P_2O_5$ が50mg/100g乾土以上になることから, 育苗期と移植後の生育でリン酸が生育の制限因子になることはなかった(第5-6表)。

36ヶ所の試験で得られた結果について, 標準施肥区(250kg~300kg $P_2O_5$ ha<sup>-1</sup>)に対するリン酸無施用区の根重相対値(%)と土壤pH(H<sub>2</sub>O)および有効態 $P_2O_5$ との関係を検討した。リン酸無施用区の根重の標準施肥区に対する相対値(%)を目的変数(Y), 土壤pH(X<sub>1</sub>)と有効態 $P_2O_5$ (X<sub>2</sub>)を説明変数とする重回帰分析を行った結果, 標準化した回帰式は $Y=77.7+3.20X_1-0.001X_2$ (n=36, R=0.540\*\*)となり, 本畑リン酸無施用区の

根重が土壌の有効態 $P_2O_5$ の多少ではなく、土壌pHの高低に大きく影響を受けていることを示唆した。

### 第3節 直播テンサイとリン酸増肥育苗テンサイの本畑におけるリン酸施肥反応の比較

前節の試験の結果は移植テンサイの本畑リン酸施肥量は、現在のリン酸施肥標準量よりかなり少なくても良いことを示したが、直播テンサイの場合には、移植とは異なり本畑リン酸の必要量が多いと考えらる。そこで2つの栽培法でリン酸施肥試験を実施した。

#### 実験方法

1984年から1986年の3ヶ年間、帯広市の火山性土で、1986年には幕別町と美幌町の褐色低地土で、リン酸施肥量0kg、125kgと標準施肥量 $250kgP_2O_5ha^{-1}$ の3処理を設け栽培試験を行った。

帯広の品種は1984年は「カーベメガモノ」、1985年と1986年は「モノエース」で、紙筒播種は年次順に3月23日、23日、25日で、移植は5月11日、3日、4月29日である。直播の播種は移植と同じ日に1畦用手押多木式播種機を用いて行った。直播の間引は年次順に6月7日、2日、5月28日に行った。

幕別と美幌の品種は「モノエース」で、紙筒播種は幕別と美幌の順に3月24日と28日、移植は5月9日と8日で、直播の播種は移植日と同じ日に行った。直播の間引は幕別は6月7日で美幌は11日である。試験は1区5畦、畦幅60cm、畦長は帯広と幕別は6.0m、美幌は5.4mで、栽培法を主区、リン酸施肥量を細区とする分割区法4反復で行った。収穫は中央の3畦について行い常法で調査した。

## 結果

試験地土壌のpH(H<sub>2</sub>O)は、帯広、幕別、美幌の試験地の順に6.3, 5.8, 5.8, 有効態リン酸含有率は4.9mg, 19.3mg, 14.2mgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g乾土, 石灰飽和度は61%, 52%, 50%であった。

火山性土における直播と移植テンサイの本畑リン酸施肥反応を、各年の移植の250kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>ha<sup>-1</sup>区のみ実数で、その他の処理区は移植の250kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>ha<sup>-1</sup>区に対する相対値(%)で示した(第5-9表)。

直播における無リン酸区の根重は3年とも明らかに標準施肥区より低下したが、移植ではまったく低下しなかった。3年平均で比較すると、直播の根重はリン酸施肥量が多いほど250kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>ha<sup>-1</sup>区まで増加したが、移植の根重ではリン酸施肥の効果はまったくなかった。糖含有率は直播と移植ともにリン酸施肥の影響がなかった。直播の糖集積量はリン酸施肥量が多いほど増加し、無リン酸区は250kgha<sup>-1</sup>区に対し9%減収した。茎葉重は直播と移植栽培ともに施肥リン酸の影響を全く受けなかった。

褐色低地土における直播と移植テンサイの本畑リン酸施肥処理に対する影響は、直播における無リン酸区の根重は帯広、美幌とも標準施肥区より低下したが、移植における無リン酸区の根重は、根重が70.5tha<sup>-1</sup>と高かった美幌で2%低下したものの幕別では低下しなかった(第5-10表)。2ヶ所を平均した根重は、直播ではリン酸施肥量が多いほど増加したが、火山性土における増加割合より小さかった。糖含有率は直播と移植栽培ともにリン酸施肥の影響をまったく受けなかった。直播の糖集積量は施肥量が多いほどわずかに増加したが125kgと250kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>ha<sup>-1</sup>との差は小さかった。茎葉重は直播と移植ともにリン酸施肥の影響をほとんど受けなかった。

第5-9表 火山性土における直播と移植テンサイの本畑リン酸施肥反応

年次	根 重 (tha <sup>-1</sup> )						糖含有率(%)					
	直播 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>			移植 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>			直播 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>			移植 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>		
	0	125	250*	0	125	250	0	125	250	0	125	250
1984	(88)	(92)	53.7	(101)	(105)	60.3	(99)	(100)	16.70	(101)	(99)	15.37
1985	(89)	(96)	44.4	(99)	(98)	61.6	(102)	(100)	14.76	(102)	(102)	14.76
1986	(94)	(101)	50.8	(101)	(99)	62.0	(100)	(100)	17.34	(97)	(100)	17.17
平均	(90)	(96)	49.7	(100)	(100)	61.3	(100)	(100)	15.45	(100)	(100)	15.77
直播/移植	73	78	81	(100)	(100)	(100)	98	98	98	(100)	(100)	(100)

年次	糖集積量 (tha <sup>-1</sup> )						茎葉量 (tha <sup>-1</sup> )					
	直播 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>			移植 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>			直播 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>			移植 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>		
	0	125	250	0	125	250	0	125	250	0	125	250
1984	(87)	(93)	7.60	(103)	(103)	9.27	(111)	(94)	47.6	(97)	(103)	43.7
1985	(92)	(99)	6.54	(101)	(101)	9.08	(95)	(100)	60.4	(104)	(101)	61.6
1986	(93)	(100)	8.85	(98)	(99)	10.66	(93)	(98)	61.3	(104)	(101)	58.4
平均	(91)	(97)	7.64	(101)	(101)	9.67	(99)	(98)	56.2	(102)	(101)	54.6
直播/移植	71	76	79	(100)	(100)	(100)	100	100	103	(100)	(100)	(100)

\*移植と直播の250kg/haを実数で、他の処理は250kgに対する相対値(%)を表す。  
直播/移植は各リン酸水準における直播の移植に対する相対値(%)を表す。

第5-10表 褐色低地土における直播と移植テンサイの本畑リン酸施肥反応(1986年)

場所	根 重 (tha <sup>-1</sup> )						糖含有率(%)					
	直播 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>			移植 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>			直播 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>			移植 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>		
	0	125	250*	0	125	250	0	125	250	0	125	250
幕別	(95)	(98)	54.5	(100)	(97)	64.1	(101)	(101)	17.48	(101)	(100)	17.31
美幌	(95)	(99)	61.3	(98)	(101)	70.5	(101)	(100)	16.96	(100)	(101)	16.96
平均	(95)	(98)	57.9	(99)	(99)	67.3	(100)	(100)	17.31	(100)	(100)	17.14
直播/移植	83	85	86	(100)	(100)	(100)	101	101	101	(100)	(100)	(100)

場所	糖集積量 (tha <sup>-1</sup> )						茎葉量 (tha <sup>-1</sup> )					
	直播 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>			移植 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>			直播 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>			移植 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> kg ha <sup>-1</sup>		
	0	125	250	0	125	250	0	125	250	0	125	250
幕別	(97)	(98)	9.54	(101)	(97)	11.09	(98)	(98)	57.2	(96)	(95)	66.5
美幌	(95)	(99)	10.40	(98)	(102)	11.95	(101)	(102)	65.6	(106)	(104)	69.1
平均	(97)	(99)	9.91	(99)	(100)	11.52	(99)	(100)	61.7	(101)	(99)	67.8
直播/移植	84	85	86	(100)	(100)	(100)	89	92	91	(100)	(100)	(100)

\*移植と直播の250kg/haを実数で、他の処理は250kgに対する相対値(%)を表す。  
直播/移植は各リン酸水準における直播の移植に対する相対値(%)を表す。

### 考察

移植テンサイに比べ直播テンサイの本畑リン酸施肥に対する反応は大きく、明らかな差異が生じた。移植の場合には育苗土に9.0kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>ha<sup>-1</sup>のリン酸を施肥しているため、苗がリン酸を最も必要とする時期に十分リン酸を吸収し、本畑リン酸施肥がなくても糖集積量が低下しないと考えられる。著者らが1991年に行った紙筒苗の3要素施肥試験の結果、9.0kg ha<sup>-1</sup>のリン酸施用により苗葉部のリン酸含有率は無リン酸区の4倍の2.2%で、リン酸吸収量は5倍あった。

Konstantions<sup>50)</sup> はテンサイの稚苗期における根圏温度がリン酸と窒素の吸収に及ぼす影響について実験し、リン酸の吸収が根圏温度 5℃、10℃と15℃の範囲では温度が低いとリン酸吸収が少なく、リン酸増肥で吸収が増すこと、施肥されたアンモニア態窒素の硝酸化とその吸収は 5℃ではほとんど起こらず、10℃と15℃の間にリン酸の吸収が増大する転換温度があると報告している。

十勝地方の中央に位置する芽室町の移植時期の最低気温、平均気温と地温の推移を見ると、十勝地方の直播と移植栽培の開始時期は4月20日頃であり、第2章で述べたように、この時期に最低気温がプラスに転じている(第5-1図)。地温は5月中旬までは10℃以下で、地温が15℃を越えるのは6月上中旬であることから、直播テンサイの場合には、子葉、本葉展開期が未だ低温期であり、リン酸施肥量が多いほど生育に有利であると考えられる。十勝地方の冷害年には、一般の直播作物ではリン酸多肥の効果が見られている<sup>20)</sup>。

育苗中に十分なリン酸を吸収した移植テンサイの場合には、養水分の吸収器官である吸収根が紙筒内で十分に発達することができ、この効果が本畑移植におけるリン酸要求度が高い生育初期にも及び、本畑の施肥リン酸量が少なくても減収しないと考えられる<sup>35, 52, 85)</sup>。

#### 第4節 有効態リン酸含有率を異にする土壤におけるリン酸増肥育苗移植栽培法の効果

リン酸増肥育苗をしてテンサイの移植栽培を行っている農家圃場の土壤中の有効態リン酸含有率ならびにリン酸吸収係数と、根重ならびに糖集積量の関係を調査した。

##### 調査方法

1987年に、リン酸増肥育苗移植栽培法を採用している芽室製糖所集荷区域の芽室町 225戸，音更町 231戸，帯広市 142戸，中札内村 51戸，更別村 73戸，幕別町 38戸の，合計 760戸のテンサイ生産農家について，1986年秋に採取したテンサイ予定畑の土壤分析値と，1987年の糖集積量の関係を検討した。土壤分析法は有効態 $P_2O_5$ はトルオーグ法で，リン酸吸収係数はアンモニア法で行った。調査農家 760戸の本畑リン酸施肥量の平均値は $347\text{kgP}_2\text{O}_5\text{ha}^{-1}$ ，範囲は $156\text{kg}-576\text{kgP}_2\text{O}_5\text{ha}^{-1}$ で，標準偏差は $71\text{kgP}_2\text{O}_5\text{ha}^{-1}$ である。根重と糖含有率は各農家の出荷原料の数値を使い，糖集積量はそれから算出した。

##### 結果

トルオーグ法による有効態 $P_2O_5$ が土壤診断基準値 $10\text{mg}/100\text{g}$ 乾土を下回る畑が48%あったが，それらの区分においても根重，糖含有率，糖集積量は低下していなかった(第5-11表)。リン酸吸収係数が改良目標値に達している畑はなく， $1,500\text{mg}/100\text{g}$ 乾土以上の高いリン酸吸収係数の畑が57%あったが，その区分の根重と糖含有率はともに高く，糖集積量の低下はなかった(第5-12表)。

第5-11表 有効態リン酸含有率と根重  
糖含有率、糖集積量の関係\*

有効態P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g乾土	戸数		根重		糖含有率		糖集積量	
	(%)		tha <sup>-1</sup> (%)		% (%)		tha <sup>-1</sup> (%)	
< 5	145	19	54.6	101	17.11	101	9.34	102
5 ≤ < 10	217	29	54.2	101	16.99	100	9.22	100
10 ≤ < 15	152	20	54.1	100	17.04	100	9.22	100
15 ≤ < 20	80	11	52.2	97	16.98	100	8.86	97
20 ≤ < 25	43	6	52.8	98	17.04	100	9.00	98
25 ≤ < 30	26	3	52.6	98	17.22	101	9.05	99
30 ≤	97	13	54.2	101	16.86	99	9.14	100
合計、平均	760		53.9		17.02		9.18	

\* 土壌診断基準値：10～30mg/100g乾土

第5-12表 リン酸吸収係数と根重  
糖含有率、糖集積量の関係\*

リン酸吸収係数 mg/100g乾土	戸数		根重		糖含有率		糖集積量	
	(%)		tha <sup>-1</sup> (%)		% (%)		tha <sup>-1</sup> (%)	
< 1000	90	13	54.1	100	16.90	100	9.14	100
1000 ≤ < 1250	76	11	51.6	95	16.94	100	8.75	96
1250 ≤ < 1500	126	19	52.5	97	17.00	101	8.93	98
1500 ≤ < 1750	155	23	53.3	98	17.05	101	9.09	99
1750 ≤ < 2000	213	32	56.7	105	17.15	101	9.73	106
2000 ≤ <	11	2	54.8	101	17.28	102	9.45	103
合計、平均	671		54.2		17.04		9.24	

\* 土壌改良目標値：700mg/100g乾土（地力保全基本調査）

### 考察

リン酸増肥育苗をした紙筒移植栽培においては、土壌のトルオーグ法による有効態P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>およびリン酸吸収係数が土壌診断基準値を下回る場合でも糖集積量の低下はみられなかった。その理由としては、本章第2節で本畑リン酸無施肥試験で示されたように、苗を9 kgha<sup>-1</sup>に相当するリン酸施肥量で育成するため、苗のリン酸含有率が高く、

移植後も紙筒内にリン酸を保持していることから、本畑土壌の有効態リン酸含有率が低くても影響が非常に少ないこと、農家のリン酸施肥量が施肥標準より50%多い平均で $350\text{kgP}_2\text{O}_5\text{ha}^{-1}$ と過剰施肥されていることが挙げられる。本調査で同時に実施した、異なる土壌pH( $\text{H}_2\text{O}$ )と交換性カルシウム( $\text{CaO}$ )含有率における根重ならびに糖集積量の調査では、これらの値が土壌診断基準値を下回る場合には糖集積量の低下が認められ、土壌の酸性に関わる要因が移植テンサイの生育と糖集積量の制限因子として強く影響していることを示している。

#### 第5節 長期連作試験圃場における施肥リン酸の土壌集積量

施肥リン酸の土壌集積量を推定するため、テンサイ長期連作試験の畑土壌を用いて検討した。

##### 実験方法

1965年、に帯広市上清川町の清川農場内にテンサイの連作障害を有機物、施肥、殺菌処理により防止、あるいは軽減する目的で長期連作試験が設けられた。同圃場の1965年に採取した表土20cmと、20から40cmの下層土各10点および1984年に採取した表土20cmと、下層土20cm12点について、硫硝酸分解法により全リン酸を定量した。

##### 結果

1965年に採取した表土20cmの全リン酸( $\text{P}_2\text{O}_5$ )含有率は、平均で166mg/100g乾土で、20cmから40cmの下層土は102mg/100g乾土であった。19年後の1984年に採取した表土には331mg、下層土には196mg/100g乾土含有し、それぞれリン酸が増加していた。

## 考察

この増加リン酸量を土層40cm, 土壤水分を25%として計算すると $3,990\text{kgP}_2\text{O}_5\text{ha}^{-1}$ となる。19年間に実際に施肥されたリン酸量は合計 $5,500\text{kgP}_2\text{O}_5\text{ha}^{-1}$ であった。平均すると毎年圃場から $56\text{kgP}_2\text{O}_5\text{ha}^{-1}$ のリン酸の持ち出しがあり, 19年間では合計 $1,060\text{kg}\text{ha}^{-1}$ と計算された。この持ち出し量を施肥リン酸の合計量から差引と $4,440\text{kgP}_2\text{O}_5\text{ha}^{-1}$ となり, 土壤の全リン酸量 $3,990\text{kgP}_2\text{O}_5\text{ha}^{-1}$ に近い値であった。

このようにリン酸を含有している土壤でも, トルオーグ有効態リン酸は表土 $2.5\text{mg}$ , 下層土で $0.5\text{mg}/100\text{g}$ 乾土しか示していない。

紙筒移植栽培で用いているリン酸増肥育苗方法は, リン酸栄養の最も必要な時期に少量施肥を行う初期生育に重点をおいたリン酸施肥技術である。移植後にテンサイの吸収根は紙筒外の施肥の行われていない畦間にも伸長し, 土壤の低濃度リン酸を利用していることが考えられる。

## 第6節 まとめ

通常の紙筒移植栽培では, ha当たりの紙筒冊数60冊(本数84,000, 容量 $2.5\text{m}^3$ )当たりのリン酸施肥量は $1.5\text{kg}\text{ha}^{-1}$ であるが, 6倍量の $9.0\text{kg}\text{ha}^{-1}$ を施用するリン酸増肥育苗の影響を検討した結果, とくに火山性土を育苗土壤に用いる場合に苗の生育および移植後の生育と糖集積量に効果を認めた。

リン酸増肥育苗をして移植した場合に, 本畑におけるリン酸施肥効果は非常に小さく, リン酸無施用でもほとんど減収せず, 少なくとも現在の施肥標準量の半量,  $125\text{kg}\text{ha}^{-1}$ の施用で実用上は差し支えなかった。

直播テンサイの場合には, リン酸増肥育苗をした移植テンサイとは異なり, とくに火山性土で本畑リン酸量が減ると糖集積量が低下

し、テンサイ稚苗期のリン酸施肥の重要性を示した。

リン酸増肥育苗による糖集積量の確保は、土壤のトルオーグ法による有効態 $P_2O_5$ 含有率が $5\text{ mg}\sim 10\text{ mg}/100\text{ g}$ 乾土程度の本畑における無リン酸栽培でも可能であった。

長期連作試験畑における施肥リン酸の土壤蓄積量が、菜根の持ち出し分の差し引き分とほぼ一致し、全リン酸として蓄積していることを確認した。

紙筒移植でテンサイ栽培を行う場合には、少なくとも現在の施肥標準量の半量で差し支えがないと考えられ、リン酸増肥育苗はリン酸資源の節約を図ることができる、テンサイのリン酸要求特性に合った初期生育に重点をおいたリン酸施肥方法である。

## 第 6 章 土 壤 p H 管 理 法

1945年以降北海道は食料増産基地としての期待が高まり，開拓による増反が行われている。しかし当時の耕地は強酸性で生産性が低く，石灰施肥が土壌改良の柱で石塚は<sup>28)</sup>石灰中和の化学的機作について解説啓蒙している。その後，酸性矯正は耕土改良の基本として継続されてきた。しかし石灰の過剰施肥と，肥料が硫酸アンモニウム，過リン酸石灰，硫酸加里を基本とした単肥配合から，リン酸アンモニウム中心の化成肥料に替わってきたために，地域的に土壌pHが高い畑が現れてきた。

また，テンサイそう根病やバレイシヨのそうか病が高い土壌pHで誘発されることから，1978年の北海道土壌診断基準において畑地土壌のpH基準域は5.5～6.5に幅をもって設定された。テンサイは高pH側，バレイシヨは低pH側，コムギ，アズキは中間が望ましいが，テンサイそう根病，バレイシヨそうか病の常発地では5.5以下が基準になっている。バレイシヨ地帯では軽微なそうか病による表面の損傷も商品価値が下がることから，畑土壌pHを基準域の下限以下に管理する必要があるため，テンサイ作付時にも石灰質肥料の施肥が行われない場合が多く，一部の地域ではテンサイの酸性障害が顕在化している<sup>7,10,72)</sup>。

そこで，pH土壌が移植テンサイの糖集積量に及ぼす影響，施肥に伴う土壌pHの低下および遅効性石灰の作条施肥と即効性石灰の作条混和施肥が糖集積量に及ぼす効果についてそれぞれ検討した。

## 第1節 土壤のpHが糖集積量に及ぼす影響

近年、畑地の土壤pH診断基準である6.0(H<sub>2</sub>O)を大きく下回る畑が増えており、このような畑における移植テンサイの根重と糖集積量に及ぼす影響を調査した。

### 土壤pHが異なる圃場におけるテンサイの糖集積量調査

#### 実験方法

1996年に、表土pHが6.0以下の十勝中央部の乾性火山性土11カ所、湿性黒色火山性土13カ所、褐色低地土6カ所の各畑を選択し、農家の慣行法で育苗、移植、施肥およびその他の管理を行った。6月中旬に畦間と株間土壤を表土(0-20cm)採取した。糖集積量は10月下旬に収穫した農家の出荷原料の根重と糖含有率から算出した。

#### 結果

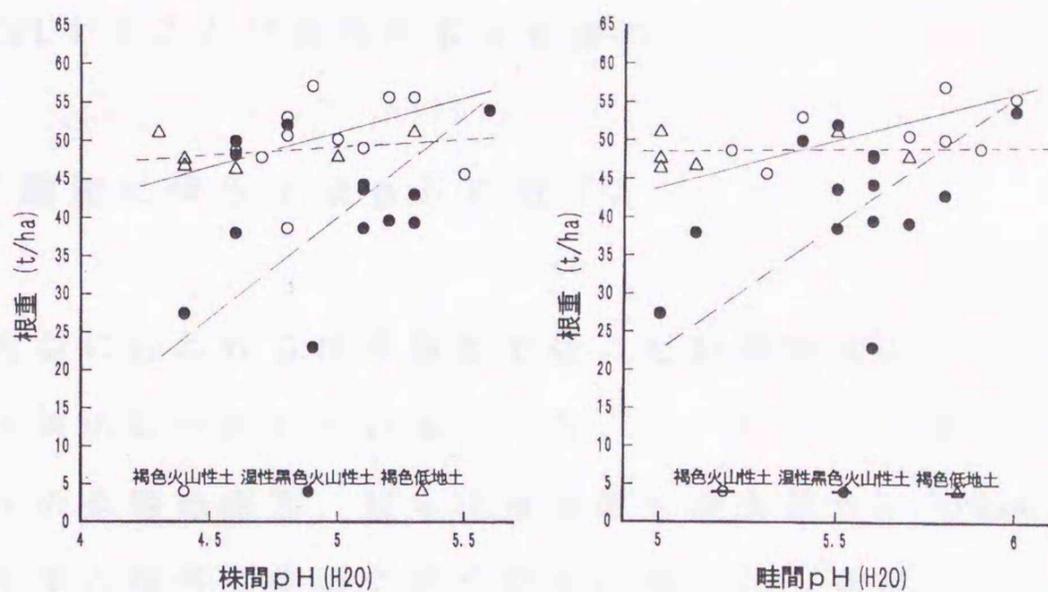
6月の土壤pH(H<sub>2</sub>O)の調査の結果、褐色火山性土、湿性黒色火山性土、褐色低地土の順に畦間の表土は平均値で、pH5.65、5.53、5.21、株間の表土はpH5.00、4.97、4.67であり、畦間と株間土壤の差はそれぞれ、pH0.65、0.56、0.54あった。

畦間pHと根重、糖集積量、株間pHと根重、糖集積量の関係を見ると(第6-1,6-2図)、低土壤pHに対するテンサイの反応が土壤によって異なった。湿性黒色火山性土の場合には、pHが低いほど根重と糖集積量の低下が明瞭であったが、褐色低地土はその影響が最も小さく、褐色火山性土の場合も影響が少なかった。

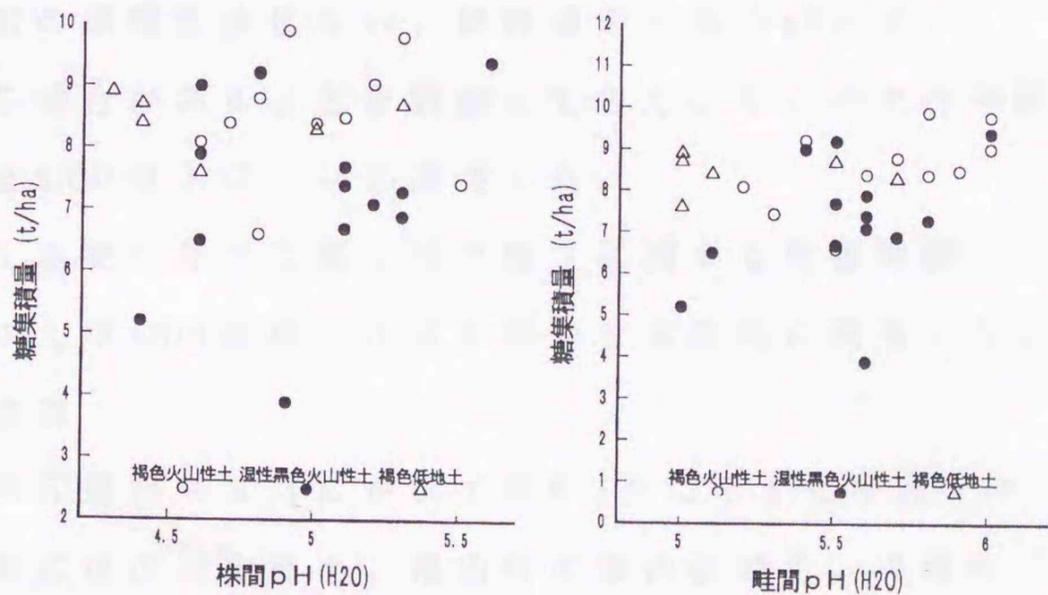
#### 考察

本実験において、畦間土壤のpH6.0以下の場合には紙筒苗が接している株間土壤のpHが5.0以下の圃場が3土壤とも20から40%あったが、根重や糖集積量が大きく低下したのは湿性黒色火山性土であった。この土壤は十勝の火山性土の中で最も交換性アルミニウム含量

が富むとされていることから，作条施肥に伴う株間土壌のpH低下により交換性アルミニウムの溶出が生じ，移植テンサイの場合も生育抑制を起こし，最終的に糖集積量を低下させていると考えられる。



第6-1図 株間と畦間土壌pHが根重に及ぼす影響



第6-2図 株間と畦間土壌pHが糖集積量に及ぼす影響

土壌pH管理の基本は表土を少なくともpH6.0近くに管理すべきであり，テンサイ作付け時には最小限の石灰の全面施用が望ましい。この点に関する知見として，吉岡<sup>86)</sup>は十勝地方でライシメーターを使い土壌養分としての石灰(CaO)の流亡量を調査している。それ

によれば，平均的には毎年約 $170\text{kgCaOha}^{-1}$ が流亡しており，これに相当する炭酸カルシウムは $320\text{kgCaOha}^{-1}$ である。十勝地方で一般的な4年輪作の場合には，テンサイの前3作中に石灰が $510\text{kgCaOha}^{-1}$ 流亡することになり，テンサイ作付時に一回のみ炭酸カルシウムを $960\text{kgCaOha}^{-1}$ 施用することで石灰の収支を図れることになる。

## 第2節 施肥に伴う土壌pHの低下

移植直前に行われる作条施肥では，肥料は深さ10から15cmの紙筒苗周辺土壌中に分布している。一方，ヨーロッパにおける施肥法は播種前年の全層施肥と，当年出芽後の土壌表層への分施からなっており，冬季の降雪や降雨に伴う肥料の流亡と，表層への分施では脱窒が起り易く，移植栽培の作条施肥は肥効の面で有利である。しかし作条施肥されるリン酸アンモニア系，あるいは尿素系化成肥料や配合肥料の硝酸化成に伴い，紙筒周辺土壌のpHが低下し，生育を遅延させる場合があることを観察してきた。そこで室内実験により施肥によるpHの低下について調査した。

### 実験I 施肥に伴う土壌pHの低下に関する培養実験

施肥が土壌pHの推移に及ぼす影響を基礎的に調査する。

#### 実験方法

1995年3月から4月にかけて第6-1表に示す化学性をもつ3種類の土壌，帯広市の火山性土，幕別町の褐色低地土，美幌町の褐色森林土（第6-3表）と，肥料としてリン酸アンモニウム系テンサイ高度化成肥料S014を供試し培養実験を行った。肥料組成はN10%（内1.3 $\text{NO}_3\text{-N}$ %）， $\text{P}_2\text{O}_5$ 21.0%， $\text{K}_2\text{O}$ 14.0%， $\text{MgO}$ 5.0%， $\text{MnO}$ 0.6%， $\text{B}_2\text{O}_3$ 0.3%である。この粉碎物を風乾土50g当たり0.3g混合し，水分を最大圃場容水量の60%に調整して30℃で培養した。培養中に蒸発する水分に

については、5日間隔で補給した。培養日数 0日、1日、5日、10日、20日、30日目に土壌を採取し風乾後、pH (H<sub>2</sub>O, KCL), EC(H<sub>2</sub>O), 硝酸態N (イオン電極法), 置換性アルミニウム(3回抽出)を測定した。

### 結果

施肥の有無による土壌pH, 電気伝導度EC, 硝酸態窒素(NO<sub>3</sub>-N), 交換性アルミニウム(EX.AL)の推移をみると(第6-2表), 火山性土, 褐色低地土, 褐色森林土とも, 施肥により培養30日目で, pH(H<sub>2</sub>O)が0.7から0.9無施用区より低下し, pH(KCL)は0.3から0.4低下した。3土壌ともECは施肥により培養30日目で, 1.3mSから1.3mS cm<sup>-1</sup>無施用区より増え, NO<sub>3</sub>-Nは4.5mgから6.8mg/100g乾土まで増加した。同じく3土壌とも交換性アルミニウムは施肥により培養30日目で0.8meqから1.0meq/100g乾土無施用区より増加した。

第6-1表 供試土壌の化学性

土 壌	pH		EC mS/cm	NO <sub>3</sub> -N mg/100g	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/100g	交換性塩基 mg/100g				CEC meq/100g	EX-AL meq/100g
	H <sub>2</sub> O	KCL				CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O		
火山性土	5.8	4.9	0.09	0.36	0.5	152	12	15	3	17	0.3
褐色低地土	6.2	4.7	0.08	0.16	36.6	308	50	42	6	19	0.0
褐色森林土	5.4	4.5	0.26	1.00	16.6	258	34	105	8	24	0.5

第6-2表 施肥の有無が化学性に及ぼす影響

項 目	供 試 土 壌	0日		10日		20日		30日		差異
		-	+	-	+	-	+	-	+	
pH (H <sub>2</sub> O)	火山性土	5.7	6.1	5.7	5.4	5.7	5.0	5.6	5.0	-0.6
	褐色低地土	6.2	6.1	6.0	5.4	5.9	5.0	5.9	5.0	-0.9
	褐色森林土	5.4	5.7	5.4	4.8	5.4	4.6	5.4	4.6	-0.8
pH (KCL)	火山性土	4.8	5.3	4.8	4.8	4.9	4.6	4.9	4.6	-0.3
	褐色低地土	4.7	5.3	4.7	4.8	4.7	4.4	4.7	4.4	-0.3
	褐色森林土	4.5	4.9	4.5	4.3	4.5	4.2	4.6	4.2	-0.4
EC (mS/cm)	火山性土	0.1	1.1	0.1	1.3	0.1	1.4	0.1	1.4	+1.3
	褐色低地土	0.1	0.8	0.1	1.1	0.1	1.2	1.2	1.5	+1.3
	褐色森林土	0.3	1.1	0.3	1.4	0.3	1.5	0.3	1.6	+1.3
NO <sub>3</sub> -N mg/100g 乾土	火山性土	0.3	1.4	0.4	4.7	0.5	7.3	0.6	7.3	+6.7
	褐色低地土	0.2	1.1	0.5	3.5	0.6	4.6	0.5	5.0	+4.5
	褐色森林土	1.0	2.4	1.0	6.7	1.1	8.0	1.3	8.1	+6.8
EX-AL meq/100g 乾土	火山性土	0.4	0.1	0.2	0.3	0.3	1.0	0.3	1.1	+0.8
	褐色低地土	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	1.0	0.3	1.1	+0.8
	褐色森林土	0.6	0.3	0.4	0.9	0.4	1.4	0.5	1.5	+1.0

## 考察

培養試験の結果，施肥により土壌pHが低下することが確認された。今回の実験条件である，30℃，30日の培養の積算温度は900℃であり，概ね7月上旬までの畑土壌の積算温度に相当するが，このpH低下は硝酸化成にともない生成される $H^+$ が主体であり，テンサイの高度化成肥料がリン酸アンモニア系や尿素系であることに関連している。リン酸アンモニア系肥料は，単肥配合施肥が一般的であった時代に使われた硫酸アンモニア，過リン酸石灰などの生理的酸性肥料とは異なり中性肥料ではあるが，5月，6月におけるアンモニア態窒素の硝酸化成に伴い紙筒苗周辺土壌を酸性化している。近年の石灰施用の減少により，畑土壌pHが5.5前後と低い場合が多くなっているが，この水準では作条施肥により株間土壌pHが4台と低くなる。田中ら<sup>80)</sup>はテンサイは低pH自体に耐性が最も弱く，低pHで可溶化するアルミニウム耐性も弱に分類しており，現在の輪作作物の中でテンサイが最も低pHの影響を受けていることになる。

### 第3節 炭酸石灰の作条施肥と粒状生石灰の作条混和施肥の効果とその比較

株間土壌のpH低下を緩衝するために，炭酸石灰及び酸性矯正力のある製糖副産液CAL (Concentrated Anion Liquor) を専用機械で施肥直前に作条施用する方法と，速効性の高い粒状生石灰を十勝地方で普及している2槽施肥機を用いて，施肥と同時に作条混和処理する方法を検討した。

## 実験 I 炭酸石灰とCALの作条施肥試験

### 実験方法

1989年と1990年に更別村の畑土壌pHが5.5前後の一般農家で現地試験を実施した。品種は「モノエースS」で、紙筒播種と移植月日はそれぞれ、1989年は3月23日と5月3日、1990年は3月22日と5月6日である。畦幅は66cmで、栽植密度は2年とも68,900本ha<sup>-1</sup>である。

施肥量はCAL中の窒素を評価して、160kgN、260kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、180kgK<sub>2</sub>O、4kgB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を共通施肥量とし単肥で調整した。酸性矯正資材の処理量は緩衝曲線法で、表土幅20cm、深さ10cmのpHを6.0にする量とした。処理は1)対照、2)苦土炭酸石灰880kgha<sup>-1</sup>の作条施用、3)CAL 1,400Lha<sup>-1</sup>の作条施用、4)2)区+3)区の4区を設けた。CALは2.3N%、10Na<sub>2</sub>O%を含有する固形分約50%の液体で、炭酸石灰の約50%の酸性矯正力がある<sup>26)</sup>。CAL施用区では、CALからの窒素分を窒素施肥量から差し引いて施肥した。苦土炭酸石灰の成分含有率はCaOが53%、MgOが5%で、4畦用ロータリ施肥機で、通常の施肥の直前に作条に土壤混合施用した。CALは4畦用施肥機に200Lのタンクと、圧力ポンプを取り付けて、テンサイ用肥料の施肥と同時に、同位置に作条に灌注施用した。紙筒苗の移植は施肥処理後に農家所有の4畦移植機で行った。試験は1区4畦、畦長8mの6反復で実施し、収穫は中央の2畦6mについて行い定法で調査した。

### 結果

1989年の生育調査の結果、CALと苦土炭酸石灰作条施用区の葉長は6月と7月まで対照区より15から20%長く、葉数も3から11%多く生育が進み、8月にもそれらの施用効果が持続した(第6-3表)。両資材を作条施用した4区の葉長、葉数は、6月、7月、8月とも相加的に良好であった。1990年の両資材の作条施肥効果は、1989年より小さかったものの、葉数では6月、7月、8月ともに対照区より

多く，両資材を条施用した4区の葉数に対する効果は，1989年と同様に相加的であった。

第6-3表 CALと炭酸石灰の条施用が6，7月の生育に及ぼす影響

施肥量		6月調査			
CAL CaCO <sub>3</sub>		葉長 (cm)		葉数 (枚)	
Lha <sup>-1</sup>	Kgha <sup>-1</sup>	1989	1990(効果)	1989	1990(効果)
0	0	10.7	14.0(100)	10.5	10.8(100)
0	880	13.0	14.4(112)	10.9	11.0(103)
1400	0	12.7	15.2(114)	10.8	11.1(103)
1400	880	13.0	15.3(115)	11.0	11.2(106)

施肥量		7月調査			
CAL CaCO <sub>3</sub>		葉長 (cm)		葉数 (枚)	
Lha <sup>-1</sup>	Kgha <sup>-1</sup>	1989	1990(効果)	1989	1990(効果)
0	0	26.3	50.5(100)	14.0	19.5(100)
0	880	30.4	49.9(108)	14.8	20.5(106)
1400	0	30.3	55.0(112)	15.5	20.6(109)
1400	880	32.4	52.5(114)	15.9	21.0(111)

\*効果：両資材無施用区に対する各区の相対値の2年平均。

第6-4表 CALと炭酸石灰の条施用が生育と糖集積量に及ぼす影響

CAL CaCO <sub>3</sub>		根重 (tha <sup>-1</sup> )		糖含有率 (%)	
Lha <sup>-1</sup>	Kgha <sup>-1</sup>	1989	1990(効果)	1989	1990(効果)
0	0	34.6	53.9(100)	16.79	15.05(100)
0	880	37.5	55.9(106)	16.88	15.07(100)
1400	0	40.7	58.7(114)	16.88	15.06(100)
1400	880	44.3	60.9(121)	16.97	15.08(100)
LSD 5%		4.0	2.6	ns	ns

CAL CaCO <sub>3</sub>		糖集積量 (tha <sup>-1</sup> )		茎葉重 (tha <sup>-1</sup> )	
Lha <sup>-1</sup>	Kgha <sup>-1</sup>	1989	1990(効果)	1989	1990(効果)
0	0	5.81	8.10(100)	40.9	45.1(100)
0	880	6.33	8.42(107)	40.4	47.2(102)
1400	0	6.87	8.83(114)	42.1	51.9(109)
1400	880	7.50	9.17(121)	44.6	49.9(110)
LSD 5%		0.61	0.36	ns	4.1

収穫時の根重に対する酸性矯正資材の作条施肥効果は両年とも明瞭であったが、とくに根重が低かった1989年の効果は大きかった(第6-4表)。根重に対する1989年と1990年の炭酸石灰の施肥効果は8%と4%、CALの施用効果は18%と9%と、それぞれ対照区より高く、両資材を併用した4区の施用効果は28%と13%で、各資材の相加的な効果を示した。

糖含有率では、1989年、1990年とも処理間差はほとんどなかった。各資材の作条施肥により根重は大きく増収したが、根重と糖含有率との逆相関は生じなかった。

糖集積量に対する施用効果は、糖含有率には処理間差がなかったことから、ほぼ根重に対する各資材の施用効果と同程度であった。両資材の併用区では各資材の相加的な施用効果が認められた。根重水準の高い、増収年の1990年の両資材の施用効果は、低収年であった1989年の施用効果の約50%であった。

炭酸石灰とCALの作条施肥区の株間土壌の8月までのpHは、無施用区より0.2から0.4高く、土壌の硝酸態窒素含有率は無施用区より少なかった(第6-5表)。

第6-5表 CALと炭酸石灰の作条施用が株間と畦間土壌のpHと硝酸態窒素含有率に及ぼす影響

施肥量 CAL CaCO <sub>3</sub> Lha <sup>-1</sup> Kgha <sup>-1</sup>	pH(H:0)				NO <sub>3</sub> -N mg/100g			
	6-7-8月		9-10月		6-7-8月		9-10月	
	株間	畦間	株間	畦間	株間	畦間	株間	畦間
0 0	4.9	5.4	5.3	5.7	19.2	3.4	0.7	0.7
0 880	5.1	5.4	5.6	5.8	11.5	2.8	0.4	0.7
1400 0	5.3	5.4	5.7	5.7	14.7	3.5	0.7	0.8
1400 880	5.2	5.4	5.6	5.7	15.5	4.1	0.7	0.6

\* 1990年の各月の調査を区分した平均値。

## 考察

炭酸石灰とCALの作条施肥効果は2年とも認められ、村島ら<sup>56)</sup>のpH作条矯正試験の結果と一致した。しかし緩衝曲線法により作条土壌のpHを6.0にする量の炭酸石灰を作条施用したが、実際の株間pHは目標よりかなり低く、テンサイ用肥料による影響がかなり強いことを示した。ロータリー施肥機を使い炭酸石灰の作条施肥を行い、施肥効果が得られたが、通常の施肥の他に作業が一行程増えることになり、普及技術として広く実施されるには時間がかかると考えられた。

## 実験Ⅱ 粒状生石灰の作条混和施肥試験

実験Ⅰで行った炭酸石灰の作条施用の作業性からみて、普及には時間がかかること、炭酸石灰などの遅効性石灰では移植直後から7月にかけての茎葉成長期に、作条土壌のpH矯正が緩慢で効果が低いと考え、速効性の粒状生石灰を吉岡<sup>86)</sup>の知見に従い、テンサイの前3作物作付け中に流亡する石灰(CaO)510kg $ha^{-1}$ に相当する生石灰量を500kg $ha^{-1}$ と評価して以下の実験を行った。

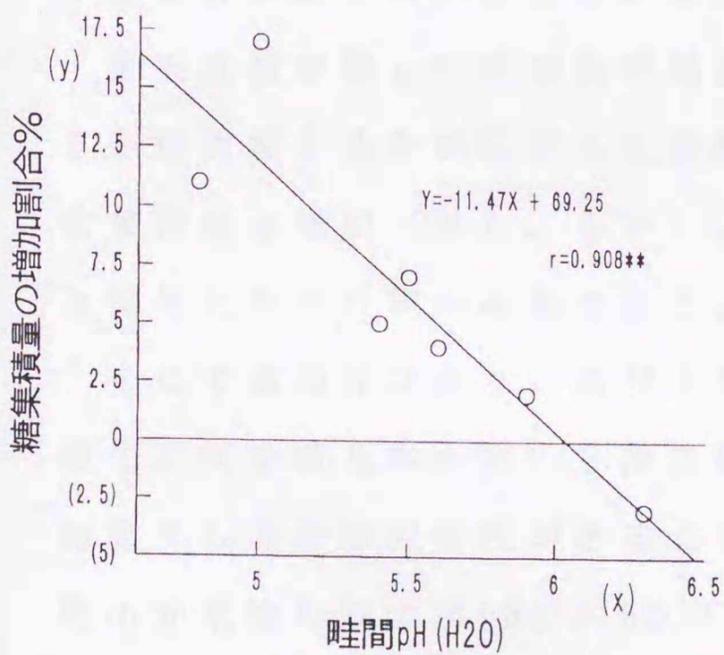
### 実験方法

1996年と1997年に十勝地方の6圃場(清川, 別府: 褐色火山性土, 更別, 戸蔦, 中札内: 湿性黒色火山性土)と名寄1カ所(褐色森林土)の合計7カ所で粒状生石灰の作条混和施肥試験を行った。試験は1区畦長8mの4畦で、2反復で行った。アルカリ分80%の粒状生石灰を使用し、2槽施肥機の1槽に農家慣行肥料を、もう1槽には粒状生石灰を充填し、移植直前に通常の施肥と同時に施用した。両肥料は各槽から排出後、施肥管を通過する過程で混和し、肥料と粒状生石灰は作条中央の左右の土壌中にほぼ均一に分布した。

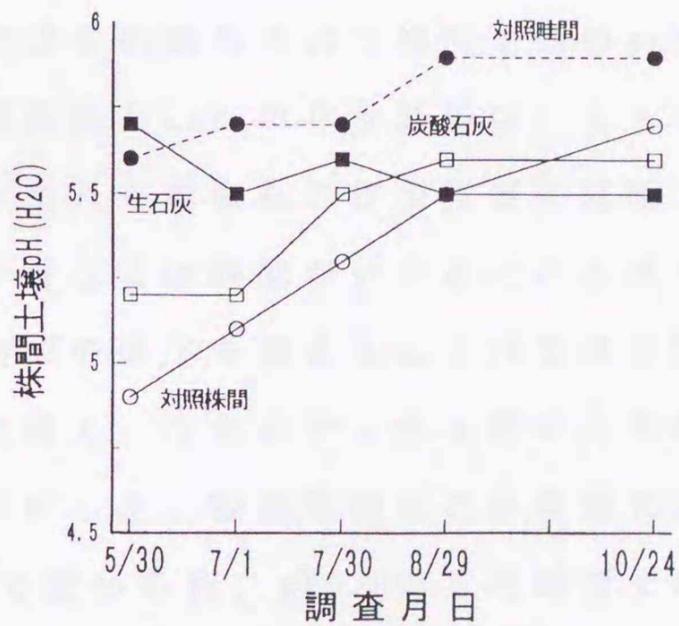
## 結果

試験圃場の畦間pHと，対照区に対する生石灰の作条混和区の糖集積量の増加率の関係を第6-3図に示す。生石灰の作条混和処理の効果はpH5.6以下で認められ，5.0以下で顕著であった。

1996年に清川で行った炭酸石灰と粒状生石灰の作条施肥による，株間土壌の推移を調査した結果(第6-4図)，粒状生石灰処理区のpHは，施肥のしていない畦間のpHと同じ水準であり，遅効性の炭酸石灰とは7月30日までにpH0.3から0.4の大差であった。また，生石灰施用による紙筒苗への悪影響に有無をみるため，施肥直後，1日後，2日後，3日後に紙筒苗を手植し活着率の調査を行ったが問題がなかった。



第6-3図 粒状生石灰の作条混和施肥の畦間pH別糖集積量に対する増収効果(N=7)



第6-4図 石灰の作条混和処理と株間土壌のpH(H2O)の推移 (1996年清川)

## 考察

粒状生石灰の2槽施肥機を用いた作条混和施肥は、生石灰の施肥量が $500\text{kg ha}^{-1}$ 程度と同時施肥するテンサイ用肥料の施肥量 $1,500\text{kg}$ から $2,000\text{kg ha}^{-1}$ の25%から35%に当たり、量的に同時施肥が可能な石灰施肥方法で、肥料の濃度障害を受けにくい紙筒移植テンサイの特徴を生かした土壌pH管理法である。

## 第4節 まとめ

テンサイは耐酸性、アルミニウム耐性が最も低い作物に分類されている。十勝に分布する低pH圃場で栽培実験の結果、とくに交換性アルミニウム含有率の高いとされる湿性黒色火山性土において、土壌pHが低いほど根重と糖集積量の低下が大きく、テンサイを作付けする場合には土壌pHの改善が優先課題である。

茎葉成長が著しい生育前半における紙筒苗周辺の株間土壌のpH低下を極力抑えるために行った炭酸石灰とCALの作条施用は、ともに糖集積量を増加させた。しかし、それらの資材の作条施用には新たな機械と作業行程が必要であり、普及には時間がかかるとみられた。

そこで速効性があり、株間土壌pHの低下を抑えることのできる粒状生石灰を普及率が高い2槽施肥機で、作条にテンサイ肥料と混和施肥する方法は実用性があると判断した。粒状生石灰の作条混和施肥の効果は畦間土壌pHが5.5以下で認められ、pH5.0以下で顕著であった。

近年十勝地方のテンサイ直播栽培畑の約50%において、本葉展開期以降に生育障害が発生しており、その原因は低い土壌pHによる酸性障害であると診断されている。移植テンサイの場合には、約45日の育苗期間に育苗土壌のpHを含め、生育障害要因が全く無いことか

ら、直播栽培では生育障害がでるような低い土壌pHの場合にも、糖集積量に対する影響は比較的小さいと考えている。しかし近年、北海道における単位面積当たりの糖集積量は停滞しており、低pH畑の増加が潜在要因になっている可能性があると考えている。テンサイの糖集積量を増やし生産性の向上を図るために、低pH圃場における粒状生石灰の作条混和处理は移植テンサイの特徴を生かした合理的な土壌pH管理方法である。

## 第7章 総合考察

紙筒移植栽培は1961年から普及が開始され、1980年以降100%に近い普及によりテンサイの糖生産量は大きく向上した。一方、移植栽培の普及に伴い収量と品質における地域・圃場間格差の存在が明らかとなり、その原因を解明し対策を提示するために、移植テンサイの諸特性を明らかにし、これを生かした肥培技術の構築を図る必要が生じた。

解決すべき課題として、(1)生育期間の更なる延長効果、(2)作業性を優先した栽植様式による生育後期の茎葉の競合問題、(3)窒素とリン酸の過剰施肥による糖生産量の低下と生産費の増加、並びに環境汚染問題、(4)ジャガイモそうか病やそう根病などの土壌病害を回避するための畑土壌のpH管理などが挙げられる。

そこで本研究は、紙筒移植テンサイの諸特性を明らかにしてその長所を生かした合理的栽培管理法を解明し、環境を保全しつつ生産性の向上を図るための方策を提示することを目的として実施した。

以下に本研究で得られた結果をもとに、紙筒移植の長所を生かして糖集積量を高めうるテンサイ栽培法と肥培管理法について総合的に考察し、提案する。

### (1)糖含有率に重点をおいた品種の選択

糖含有率に及ぼす品種の効果は、一般肥培管理である窒素施肥や栽植密度に比べ明らかに大きく(第3章第5節)、製糖原料として十分な糖含有率水準にある品種選択を行い、選択された品種を用いて糖集積量を高める肥培技術を開発することが、登熟期間が短い北海道ではとくに重要である。十勝地方のテンサイの登熟期間は、11月には急激に気温が低下し、光合成器官の茎葉が凍害を受けるためヨーロッパに比べて短い(第2章第4節)、糖含有率の高い品種

を選択し，紙筒移植を行って高い根重を確保し，下記に示す栽培・肥培管理法を採用することによって，世界で最も高水準のha当たり糖集積量を得ることが可能になる（第1章）。

#### (2) 早期播種・移植によるさらなる生育期間の延長

紙筒移植の普及当初の播種時期は，保温施設が小型であったため4月上旬で，移植は5月中下旬であった。その後の大型の育苗ハウスの導入により，無加温条件では3月中旬が早期播種の限界であることが示唆された（第2章第1節）。5年間に延べ1938戸の農家調査から，播種時期以上に移植時期の早晚が根重に対し強い影響を持つこと，早期播種・移植により根重が相当増加しても糖含有率が低下しないことを明らかにするとともに，早期移植の効果は育苗日数が短い場合には低下することが示唆された（第2章第3節）。

#### (3) 耐霜性を付与する紙筒苗の育成

早期移植は糖集積量を高める確実な方法であるが，霜害を受ける危険が大きくなる。紙筒苗は出芽期の直播幼苗に比べると耐霜性が強いが，耐霜性をさらに強化するためには40日以上育苗日数（苗齢）が必要であり，移植前に7日から10日間ほどを外気を導入して低温育苗処理を行うことが有効であった（第2章第2節）。

#### (4) 高い欠株補償力と茎葉の競合を考慮した栽植密度

移植テンサイは欠株補償力は高いが，茎葉に競合が生じる栽培環境のもとでは根部への同化産物の分配が低下した（第3章1節）。栽植様式では，正方形植の70,000本ha<sup>-1</sup>がとくに高い糖集積量を示したが，通常の60cm畦幅の場合にha当たり50,000本ha<sup>-1</sup>と70,000本ha<sup>-1</sup>の間には糖集積量に差がない実験結果が多く，株間を30cm以下に狭めないで，株間の競合を小さくする栽植様式が有利であった（第3章第2節，3節）。

#### (5) 適正な窒素肥培管理

光合成器官である茎葉の生育量を律する作用が強い窒素肥料の施

肥技術は糖生産のために極めて重要である。広範囲に無窒素栽培した結果，地域により窒素地力に差があること，施肥窒素の利用率が異なることを明らかにし，窒素地力別の適正窒素施肥量を診断する基準を構築した（第4章第1節）。

製糖原料として望ましい17%以上の糖含有率を達成するためには，8月下旬の窒素含有率は地上部は2.5%以下，根部は0.75%以下である必要があることを明らかにした（第4章第2節）。糖集積量が最大となる窒素施肥量は，根重が最大となる施肥量より少なく，その差は18～33kg $\text{ha}^{-1}$ であった（第4章第2節）。

施肥窒素量と菜根中のアミノ態窒素含有率に高い正の相関があること，収穫期の菜根中のアミノ態窒素含有率と糖集積量の関係より，1.0meq/100g新鮮重以下では窒素不足，1.0meqから2.5meq/100g新鮮重の範囲は適正，2.5meq/100g新鮮重以上が窒素過剰を表すことを見出し，これをもとに次年度の適正窒素施肥診断が可能であることを示した（第4章第2節）。

移植時期の早晚により窒素施肥効果は変わらなかったが，糖集積量に対し，2日の移植の違いは窒素10kg $\text{Nha}^{-1}$ の効果に相当した（第4章第4節）。

収穫時期の早晚により窒素施肥の効果は変わらなかったが，糖集積量に対して窒素施肥量より収穫時期の影響が大きかった（第4章第5節）。

#### （6）リン増肥育苗による本畑リン酸施肥量の適正化

低温に経過する育苗期間と圃場移植直後の期間において，予め苗のリン酸含有率を高め，紙筒内に多くのリン酸肥料を保持させるため，育苗土壌に対するリン施肥量を標準の1.5kg $\text{ha}^{-1}$ から9.0kg $\text{ha}^{-1}$ に増肥するリン酸増肥育苗は，育苗土壌の種類に関わらず健苗が得られ，とくに火山性土の場合に増収が明らかであった（第5章

第1節)。

リン酸増肥育苗を行い本畑で無リン酸栽培をしても、リン酸施肥をした場合と変わらない生育と糖集積量を確保できることを明らかにした(第5章第2節)。一方、直播栽培では標準量の本畑リン酸施肥が必要であり、テンサイの稚苗期におけるリン酸施肥の意義が明らかとなった(第5章第3節)。

リン酸増肥育苗による糖集積量の確保は、土壌のトルオーグ $P_2O_5$ 含有率が $5\text{mg}/100\text{g}$ 程度と低い畑における無リン酸栽培でも達成された(第5章第4節)。リン酸増肥育苗は移植テンサイの早期播種と早期移植の効果を確実にする紙筒移植の中心的肥培技術である。

#### (7) ナトリウムの施肥効果と土壌診断基準値

ナトリウムは硝酸吸収を促進し茎葉の成長を速め、糖含有率を低下させることなく糖集積量を増加させることを明らかにした。(第4章第3節)。北海道のテンサイ栽培地域のなかで沿海地域の土壌は交換性ナトリウム( $\text{Na}_2\text{O}$ )含有率が高く、ナトリウムの施肥効果は低い。一方、上川および十勝地方の内陸地域の土壌は交換性ナトリウム( $\text{Na}_2\text{O}$ )含有率が低く、施肥効果が高い特徴がある(第4章第3節)。ナトリウムの糖集積量に対する施肥効果はカリウムと同程度に高い場合があった。ナトリウムの施肥効果が期待できる土壌中の交換性ナトリウム( $\text{Na}_2\text{O}$ )含有率は $5.0\text{mg}/100\text{g}$ 乾土以下であることを明らかにした(第4章第3節)。

#### (8) 土壌pH管理

ジャガイモそうか病の回避のため、畑土壌pHを5.5以下に維持する場合があります、アルミニウムの溶出によりテンサイの生育は抑えられる。土壌pH6.0以下の場合に糖集積量はpHが低いほど低下した(第6章第1節)。低pH領域における低下の程度は土壌の種類によ

り異なり，褐色火山性土と褐色低地土では小さく，湿性黒色火山性土では大きかった。（第6章第1節）。

アンモニア系および尿素系肥料の硝酸化成に伴う土壌pHの低下とアルミニウムの溶出（第6章第2節）を抑制するため，反応性の高い粒状生石灰を一般肥料と同時に作条混和施肥する方法は，移植苗に悪影響がなく，土壌pH5.5以下の畑で効果が認められ，移植の特徴を生かした肥培技術として有効であった（第6章第3節）

#### （9）茎葉の成長抑制

8月以降，蒸発散量に比べて降水量が多くなる十勝地方や，短期輪作でテンサイ茎葉の畑地還元量が多く，窒素過剰になりやすい網走地方において，生育後半に高温あるいは多湿条件になれば，茎葉の再成長により競合が生じ，根部への同化産物の分配が低下し，糖含有率が低下する。この対策として，8月，9月にCMH（マレイン酸ヒドラジドコリン塩）の葉面散布により，茎葉の成長と新葉の展開を抑制し，糖含有率と糖集積量を向上させることができる生育途中に処理が可能な即応技術を確立した（第3章第6節）。

## 第 8 章 要 約

紙筒移植栽培は1961年から普及が開始され、1980年以降100%に近い普及によりテンサイの糖生産量は大きく向上した。一方、移植栽培の普及に伴い収量と品質における地域・圃場間格差の存在が明らかとなり、その原因を解明し対策を提示するために、移植テンサイの諸特性を明らかにし、これを生かした肥培技術の構築を図る必要が生じた。

解決すべき課題として、(1)生育期間の更なる延長効果、(2)作業性を優先した栽植様式による生育後期の茎葉の競合問題、(3)窒素とリン酸の過剰施肥による糖生産量の低下と生産費の増加、並びに環境汚染問題、(4)ジャガイモそうか病やそう根病などの土壌病害を回避するための畑土壌のpH管理などが挙げられる。

そこで本研究は、紙筒移植テンサイの諸特性を明らかにしてその長所を生かした合理的栽培管理法を解明し、環境を保全しつつ生産性の向上を図るための方策を提示することを目的として実施した。

得られた結果の概要は以下の通りである。

### 1. 紙筒移植の特性を生かした苗育成法と本畑栽培法

1) 3月中旬までの早期紙筒内播種と早期の圃場移植によってテンサイの生育期間をさらに延長することにより、糖含有率が低下することなく糖集積量が増加した。

2) 早期移植の効果を高めるためには苗への耐霜性の付与が重要であり、そのためには40日以上の子苗と、移植直前7-10日間の外気を利用した低温育苗処理が有効であった。

3) 移植テンサイは欠株が発生した場合でも補償能力が高かった。しかし、移植テンサイの速い茎葉の成長は8月以降に地上部の競合をもたらし、同化産物の根部への分配を低下させた。この対策として、

現行の栽植様式より株間を広げ畦幅を狭くする栽植様式が有効であった。

4) 8月以降に地上部の競合が激しくなった場合の対策として、成長抑制剤の葉面散布によって糖含有率と糖集積量を向上させる方法を確立した。

## 2. 窒素肥培管理法

1) 無窒素栽培を行った結果、地域により窒素地力に差があることと地域により施肥窒素の利用率が異なることを明らかにし、地域別、窒素地力別の適正施肥量診断表を作成した。

2) 製糖原料として望ましい17%以上の糖含有率を達成するためには、8月下旬の窒素含有率が地上部で2.5%以下、根部で0.75%以下であることが必要であった。

3) 糖集積量が最大となる窒素施肥量は、糖含有率が窒素施肥量が少ないほど高くなるために、根重が最大となる窒素施肥量に比べ、ha当たり18kgから33kg少なかった。

4) 施肥窒素量と収穫期における菜根中のアミノ態窒素含有率には高い正の相関が存在した。さらに収穫期における菜根中のアミノ態窒素含有率と糖集積量の関係から、アミノ態窒素含有率が1.0meq/100g新鮮重以下では窒素不足、1.0meqから2.5meq/100g新鮮重の範囲は適正、2.5meq/100g新鮮重以上では窒素過剰であることを明らかにして、これをもとに次年度の栽培のための適正な窒素施肥診断が可能であることを示した。

## 3. リン酸肥培管理法

1) 育苗土壌に対するリン酸施肥量を標準の1.5kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/haから9.0kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/haに増肥したリン酸増肥育苗は、とくに火山性土壌を育苗土に使った場合の紙筒苗の生育量を高め、収穫期の糖集積量を増加させた。

2) リン酸を増肥した育苗により、本畑で無リン酸栽培をしてもリン

酸施肥をした場合と変わらない生育と糖集積量を達成することが可能であった。一方、直播栽培では標準量の本畑リン酸施肥が必要であり、初期生育重点型リン酸施肥の意義が明らかとなった。

3)リン酸増肥育苗による糖集積量の確保は、トルオーグ法による土壌の有効態 $P_2O_5$ 含有率が $5mg/100g$ 乾土程度の低リン酸土壌でも可能であった。

#### 4. ナトリウムの施肥効果と土壌診断基準値

1)ナトリウムは硝酸吸収を促進して茎葉の成長を速めることを明らかにし、糖含有率を低下させることなく糖集積量を増加させることを示した。

2)ナトリウムの施肥効果が期待できる土壌の交換性ナトリウム( $Na_2O$ )含有率は $5.0mg/100g$ 乾土以下であることを明らかにし、これを土壌診断基準に入れるべきであると提案した。

#### 5. pH管理法

1)バレイショ栽培においてジャガイモそうか病の回避のため、畑土壌pHを5.5以下に維持する必要があるが、バレイショを含む輪作様式でテンサイを栽培する場合には、アルミニウムの溶出によりテンサイの生育が抑制される。株間の土壌pHの低下による根重と糖集積量の低下は土壌の種類により異なり、褐色火山性土と褐色低地土では比較的小さく、湿性黒色火山性土では大きかった。

2)アンモニア系および尿素系肥料の作条施肥に伴う紙筒苗周辺の株間土壌pHの低下を抑制するため、反応性の高い粒状生石灰を肥料と同時に作条混和施肥する方法を開発・利用した結果、移植後に移植苗に悪影響を及ぼすことがなく、土壌pH5.5以下の土壌で糖集積量が増加した。この方法は紙筒移植テンサイの特徴を生かしたpH管理技術として有効であった。

以上の結果から、移植テンサイの特徴を生かした糖集積量を高める合理的栽培管理法としては、(1)早期播種、(2)耐霜性を付与した苗の育成、(3)苗を早期に移植することによる生育期間のさらなる延長、(4)低pH土壌における粒状生石灰の肥料との作条混和施肥、(5)アミノ態窒素含有率を判断基準とした適正窒素施肥、(6)初期生育の確保に重点をおいたリン酸施肥、(7)ナトリウム施用による茎葉成長促進、ならびに(8)8月以降に茎葉間競合が生じた場合のCMHの葉面散布による茎葉成長制御、が有効であり、窒素とリン酸の過剰施肥の適正化により、生産費の低下と環境の富栄養化を抑制することが可能であることを明らかにした。

## 謝 辞

本論文の取り纏めに当たっては、北海道大学農学部教授但野利秋博士に終始懇切なるご指導を賜った。また、北海道大学農学部教授島本義也博士、及び同教授波多野隆介博士、助教授山口淳一博士には本稿のご校閲をいただき、有益なご助言をいただいた。ここに深甚なる謝意を表する。

本研究は、元日本甜菜製糖株式会社総合研究所増田昭芳博士と、元日本甜菜製糖株式会社美幌製糖所副所長加川勝久氏のご指導の元に開始し、増田昭芳博士には、継続してご指導とご鞭撻を賜った。また、日本甜菜製糖株式会社札幌支社元農事技術部長築島昇氏、同総合研究所長佐山晃司博士、同副所長神沢克一博士、飼料事業部長田中勝三郎博士の絶大なるご援助のもとで取り進めた。さらに、北海道大学名誉教授石塚喜明博士には、著者の研究活動の初期より今日まで終始研究に対するご助言と、ご激励をいただいた。ここに衷心より感謝の意を表する。

さらに、本研究の遂行に当たっては、終始日本甜菜製糖株式会社農務部門の諸氏と、主たる試験を実施した同清川農場、幕別試験地の各位には全面的な支援をいただいた。また、同農務部早坂昌志課長には共同研究者として絶大なるご協力をいただいた。以上の諸氏に心から感謝の意を表する。

## 引用文献

- 1)天野文助(1922):甜菜,北海道農事試験場彙報第49号.
- 2)Bartens(1994):Harvest months,Zuckerwirtschaft,1995/96,  
15-19.
- 3)Bartens(1994):Sugar yield per ha,Zuckerwirtschaft,1995/96,  
36.
- 4)Burba M.(1980):Kalium und Natrium im Stoffwechsel der  
Zuckerrübe, Die Zuckerrübe, 29(5),16-19.
- 5)Burba M.,Nitzschke U.and Ritterbusch R.(1984):Die  
N-Assimilation der Pflanze unter besonderer Beruck-  
sichtigung der Zuckerrübe,Zuckerind.109(7),613-627.
- 6)Cavazza,L.(1976):Outlines of the state of irrigation of  
sugar beet in the world. Proc.I.I.R.B.,1976,211-264.
- 7)堂本弘之(1994):直播テンサイ生育障害に付いて 第1報 発生状況  
と原因究明,てん菜研究会報,36,74-79.
- 8)Fick G.W.,Loomis R.S.and Williams W.A.(1976):Sugar beet,  
a simulation model:SUBGRO,266-282.Crop physiology,  
Cambridge University Press.
- 9)平井義孝(1960):畑地に対する燐酸資材多施用の効果,北農,43,  
108-114.
- 10)早坂昌志(1994):テンサイ畑の土壌pHと収量・糖分,てん菜研究会  
報,36,59-65.
- 11)早坂昌志(1996):礫耕栽培における根重と品質の年次変動に及ぼ  
す気温の影響,てん菜研究会報,38,72-78.
- 12)Hills F.J.,Sailsbery R.L.and Ulrich A.(1980):Testing for  
precise sugarbeet fertilization, California Agriculture,

June, 19-20.

- 13) 北海道上川農業試験場土壌肥料科(1988):てん菜に対する製糖副産液(CAL)の施用効果, 昭和63年度農業試験会議資料.
- 14) 北海道農業試験場・北海道農務部(1959):ダウニー博士の北海道甜菜栽培視察報告要旨, 1-35.
- 15) 北海道農務部農業改良課(1956):農業技術普及資料, てん菜に対するナトリウムの施用試験成績, 10(1), 333-343.
- 16) 北海道農政部(1957):北海道施肥標準.
- 17) 北海道農政部(1995):北海道施肥標準.
- 18) 北海道立中央農業試験場化学部(1968):畑地に対する燐酸多用試験成績, 昭和42年度農業試験会議資料, 1-65.
- 19) 北海道立根釧農業試験場作物科(1973):てん菜のリン酸強化育苗に関する試験, 北海道農業試験会議資料, 1-11.
- 20) 北海道立十勝農業試験場(1982):56年の異常気象と十勝の畑作—冷害年における燐酸施肥反応, 道立十勝農業試験場資料, 7, 71-73.
- 21) 北海道糖業(1994):Na施肥量に関する試験, 平成6年度てん菜試験成績, 66-75.
- 22) 北海道十勝農業試験場農業機械科(1979):農業機械科試験成績(昭和54年度), 46-49.
- 23) 北海道十勝農業試験場農業機械科(1981):農業機械科試験成績(昭和56年度), 58-60.
- 24) 北海道十勝農業試験場農業機械科(1983):農業機械科試験成績(昭和58年度), 72-76.
- 25) 北海道十勝農業試験場てん菜科(1989):新育苗技術によるてん菜の生産性向上試験, 健苗の条件と苗質, 平成元年度てん菜試験成績書, 69-70.
- 26) 北海道植物防疫協会(1991):平成元年普及奨励ならびに指導参考事項, てん菜に対する製糖副産液(CAL)の施用試験, 305-307.

- 27)石塚喜明(1958):甜菜肥料に関する研究(予報)甜菜研究会研究報告 第1号,北海道大学農学部甜菜研究会,25-33.
- 28)石塚善明(1959):酸性土壤の改良にあたって,開拓地土壤調査事業,十周年記念論集,農林省農地局編,815-820.
- 29)石塚善明(1959):肥料,北海道大学甜菜研究会編,甜菜-栽培と管理-143-156,博友社,東京.
- 30)今井雅子・泉山陽一(1972):てん菜単胚品種の機械直播栽培における株立と収量の関係,てん菜研究会報,12,27-34.
- 31)今井雅子・泉山陽一(1973):てん菜単胚品種の機械直播栽培における播種間隔について,てん菜研究会報,13,7-12.
- 32)井村悦夫・早坂昌志(1980):てん菜畑の窒素地力と施肥効率の地域性の実態について,てん菜研究会報,22,122-131.
- 33)井村悦夫・早坂昌志(1981):日甜集荷区域内におけるてん菜の窒素施肥反応の実態,てん菜研究会報,23,109-118.
- 34)井村悦夫ら(1983):テンサイ連作畑における土壤養分の実態,てん菜研究会報,25,18-26.
- 35)井村悦夫・早坂昌志(1985):土別製糖所地域における移植テンサイのりん酸,カリ施肥反応,てん菜研究会報,27,93-98.
- 36)井村悦夫・早坂昌志(1987):テンサイの施肥における窒素潜在地力の評価方法 第3報 根中のアミノ態窒素と全窒素吸収量の関係,てん菜研究会報,29,127-132.
- 37)堅木育雄・泉山陽一(1975):てん菜の栽植法に関する研究 第1報 収量・糖分に及ぼす畦幅および栽植本数の影響,てん菜研究会報,17,201-209.
- 38)堅木育雄・泉山陽一(1976):てん菜の栽植法に関する研究 第2報 収量・糖分に及ぼす畦幅および株間の影響,てん菜研究会報,18,203-212.
- 39)堅木育雄・花井雄次(1977):てん菜の栽植法に関する研究 第3報

- 畦幅・株間の変化に対する品種の反応,てん菜研究会報,19,  
259-266.
- 40)加川勝久・井村悦夫(1973):てん菜紙筒移植栽培における育苗土  
のpHについて,てん菜研究会報,13,19-26.
- 41)神沢克一・宇井格生(1972):てん菜のそう根病,日本植物病理学会  
報,38,434-435.
- 42)神沢克一(1973):てん菜のそう根病について、第5報 育苗中のpH  
と発病について,てん菜研究会報,13,27-36.
- 43)神沢克一(1973):紙筒育苗てん菜苗の苗枯病,てん菜研究会報,13,  
37-44.
- 44)Kazuoka,T and Oeda,K.(1992):Plant and cold hardness and  
freezing stress, Plant Cell Physiol.,33,1107.
- 45)木下 彰(1973):土壌中の水分特性と水管理,北海道農業試験場研  
究資料,1, 55-80.
- 46)黒沢厚基ら(1985):テンサイの育苗温度について,てん菜研究会報,  
27,106-111.
- 47)黒沢厚基(1994):テンサイ品種の生育型に関する作物学的解析,北  
海道大学農学部邦文紀要, 19(1),99-149.
- 48)串崎光男・安田 環(1964):てん菜の生育過程における物質の消  
長(第1報)特にナトリウム栄養を中心にして,北海道農業試験場集  
彙報,83,71-77.
- 49)今 友親・上野賢司(1976):道央地帯におけるてん菜の栽植法に  
関する研究 1 栽植密度と栽植様式に関する一考察,てん菜研究会  
報,18,221-230.
- 50)Konstantions,M.S.and Ulrich,A.(1971):The influence of  
root zone temperature on phosphorus nutrition of  
sugarbeet seedlings,J.Am.Soc.Sugar Beet Technol,16(5),  
408-421.

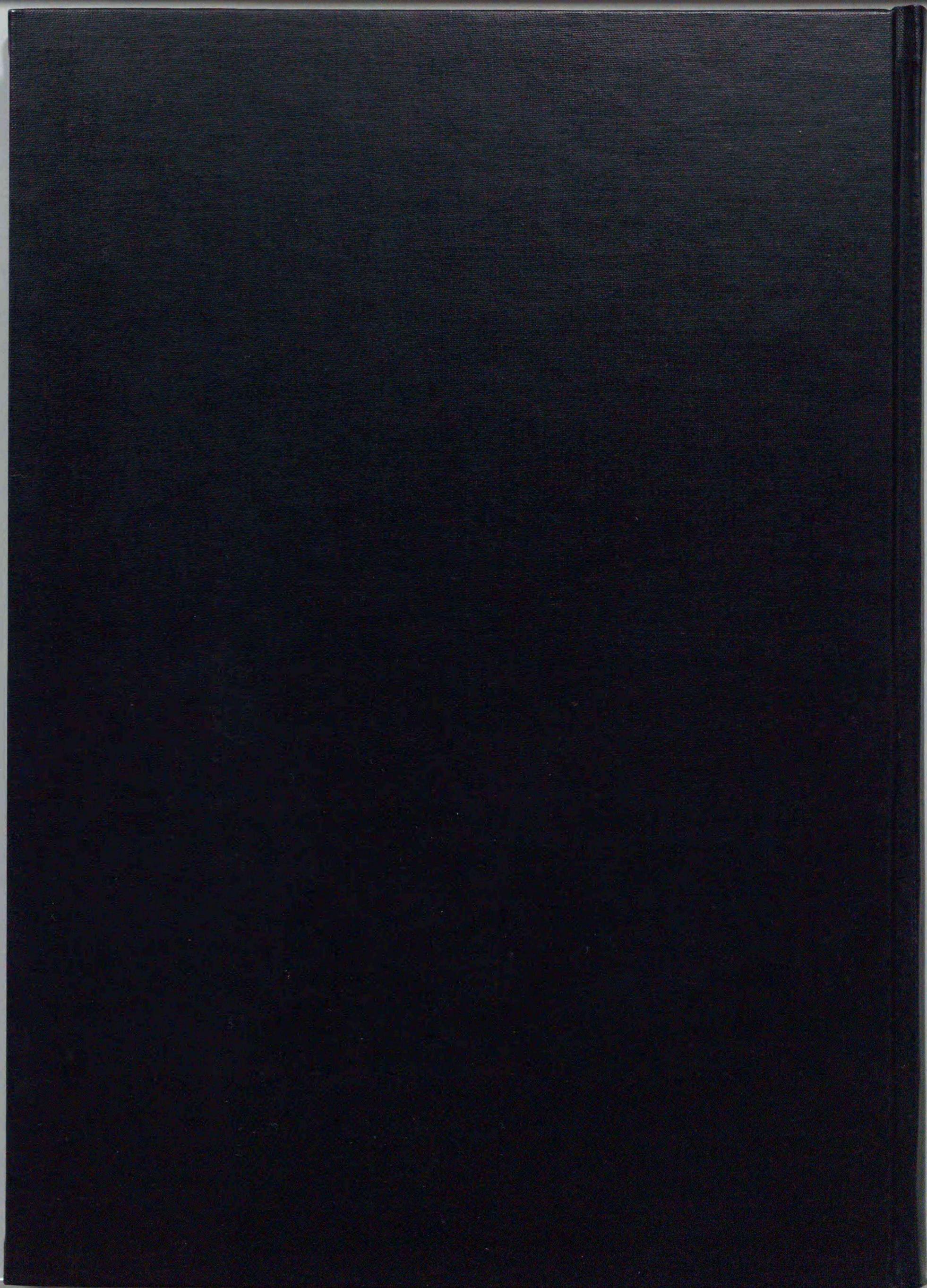
- 51)大島栄司(1975):てん菜生育における若干の作物生態的知見について,北海道農業試験場研究資料,7,1-88.
- 52)大崎亥佐雄・横井義雄(1983):テンサイの収量と糖分含有に及ぼす窒素、りん酸の影響,てん菜研究会報,25,188-194.
- 53)三谷宣充・松川 久(1975):畦幅と株間がてん菜の収量に及ぼす影響,てん菜研究会報,17,193-199.
- 54)Marcussen C.(1988):Amino N figures as used in Denmark, British Sugar Beet Review, 53(4),46-48.
- 55)Marlander, B.(1991):Einfluss der Sorte, Zuckerrüben, 27-36. Ute Bernhardt-Patzold Druckerei & Verlag, Stadthagen.
- 56)Marlander, B.(1991):Einfluss der aussaatzeit, Zuckerrüben, 36-49. Ute Bernhardt-Patzold Druckerei & Verlag, Stadthagen.
- 57)Marlander, B.(1991):Einfluss der N-düngung, Zuckerrüben, 50-61. Ute Bernhardt-Patzold Druckerei & Verlag. Stadthagen.
- 58)増田昭芳(1960):てん菜の移植栽培について,ビート生産技術懇談会報告,91-145.
- 59)増田昭芳・加川勝久(1963):紙筒栽培法における健苗育成について,肥料濃度と苗の生育反応,てん菜研究会報,補巻3,56-59.
- 60)増田昭芳・加川勝久(1964):紙筒栽培法における健苗育成について,肥料切れ対策,てん菜研究会報,補巻4,52-57.
- 61)増田昭芳・加川勝久(1967):紙筒育苗における栄養強化について,第7回てん菜技術研究会発表文集,76-83.
- 62)増田昭芳(1969):主要畑作物の施肥,てん菜, 218-235.北海道農業と土壌肥料,北農会,札幌.
- 63)増田昭芳・加川勝久・井村悦夫(1972):燐酸の栄養強化育苗移植栽培法における熔燐、過石の組み合わせについて,てん菜研究会報,14,91-100.

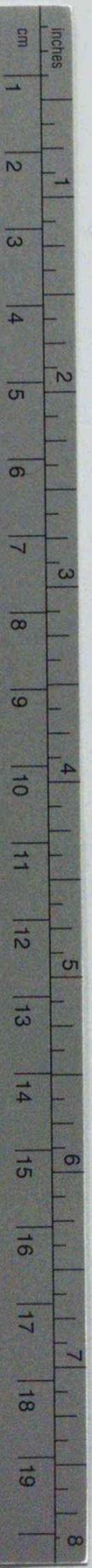
- 64) 増田昭芳・井村悦夫・早坂昌志(1979):てん菜の栄養に関する研究 第5報 礫耕標準栽培法におけるてん菜の生育経過と要素吸収量の推移, てん菜研究会報, 21, 171-180.
- 65) 南山 豊・野村信史・大槌勝彦(1977):北見地方におけるてん菜の生育時期別・部位別の無機養分の吸収特性について, てん菜研究会報, 19, 297-303.
- 66) 村島 充(1985):馬鈴薯地帯におけるPH作条矯正によるテンサイ栽培について, てん菜研究会報, 27, 99-105.
- 67) 日本甜菜製糖(1992):<sup>15</sup>N利用による窒素肥料の利用率調査. 平成4年度甜菜試験並びに調査成績, 71-77.
- 68) 日本甜菜製糖(1991):育苗期間の三要素の役割. 平成3年度甜菜試験並びに調査成績, 106-114.
- 69) 日本甜菜製糖(1976):窒素の全層施肥に関する試験, 昭和51年度甜菜試験並びに調査成績, 78-81.
- 70) 西宗 昭・金野隆光・宮沢数雄・藤田 勇(1970):十勝火山灰土壌における施肥技術に関する研究 てん菜に対する窒素利用効率に関する試験, 北海道農業試験場畑作部試験研究成績書, 93-130.
- 71) 西宗 昭・金野隆光・藤田 勇(1980):十勝地方の畑作物の窒素利用 第1報 NH<sub>4</sub>態およびNO<sub>3</sub>態窒素肥料の土壌中での動向とテンサイによる利用, 北海道農業試験場研究報告, 126, 31-52.
- 72) 沢口正利(1996):最近の畑土壌酸性化問題, 北農, 63(2), 6-11.
- 73) Scott R.K. and Jaggard K.W.(1993):The Sugar Beet Crop, Assessing light interception, 200-201. Chapman & Hall.
- 74) 嶋山甲二(1962):十勝地方高丘地に於ける甜菜分岐根の成因について, 甜菜増産資料 第1号, 十勝甜菜増産協会.
- 75) 白井和栄・三谷宣充(1975):畦幅と株間がてん菜の収量に及ぼす影響, 第3報 根釧地方のてん菜栽培における畦幅・株間, てん菜研究会報, 19, 267-273.

- 76) 白井和栄・三谷宣充(1976): 畦幅と株間がてん菜の収量に及ぼす影響, 第2報 畦幅・株間と個体根重の分布, てん菜研究会報, 18, 213-219.
- 77) Shore M, Broughton n.w., Dutton J.V., and Bowler G.I. (1984): Nitrogen fertilizer control by amino-nitrogen measurements, Paper presented to 27th Tech. Conf. British Sugar plc, 43.
- 78) Sugar Beet Research and Education Committee (1985): Time of Sowing, Sugar Beet a grower's guide, 22-23.
- 79) 鷹田秀一・林田政誉・瀬戸 剛・保村正光(1990): テンサイの施肥窒素における硝酸態窒素の割合が収量・糖分に及ぼす影響について. チリ硝石の効果について, てん菜研究会報, 32, 25-30.
- 80) 田中 明・早川嘉彦(1974): 耐酸性の作物種差異(第2報) 耐AL性および耐Mn性の種間差 - 比較植物栄養に関する研究 -, 日本土壤肥料学会誌, 46, 19-25.
- 81) 田中 明・但野利秋・多田洋司(1974): 塩基適応性の作物種間差(第3報) ナトリウム適応性, 日本土壤肥料学会誌, 46, 285-292.
- 82) 十勝農業試験場病虫予察科(1986): バレイシヨそうか病の発生生態に関する試験, 昭和61年普及奨励ならびに参考事項, 北海道植物防疫協会, 246-251.
- 83) Van Meirvenne M. (1991): Influence of row and broadcasted N application on the evolution of the mineral nitrogen under sugar beet, Proc. of International Institute for Beet Research, 445-454.
- 84) Wortand D.J. and Singh B. (1970): Growth, Composition, and Metabolic Responses of Sugar Beet to Pre-harvest Application of Maleic Hydrazide. Agronomy Journal, 62, 57-61.
- 85) 横井義夫(1983): 十勝地方におけるテンサイのリン酸カリ施肥診

断について,てん菜研究会報,25,195-201.

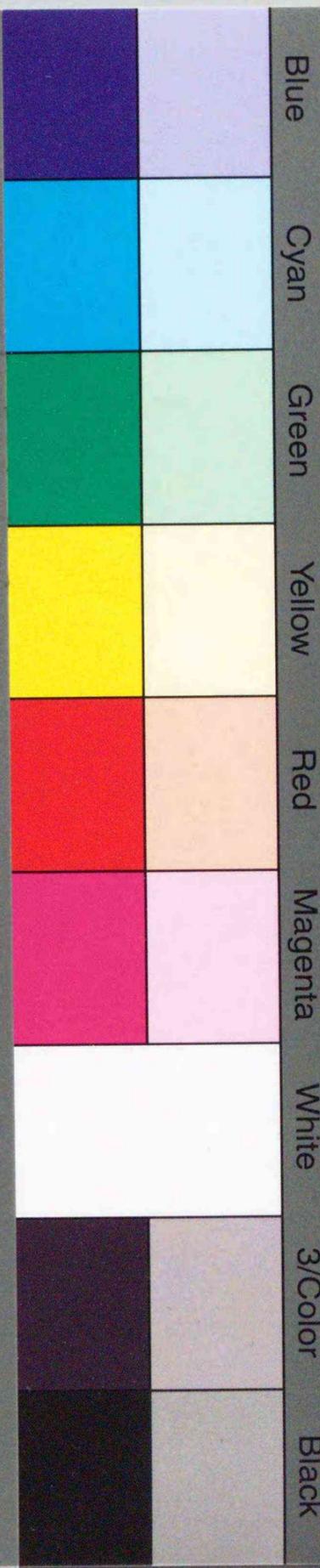
86)吉岡真一(1978):畑作地帯におけるでん粉廃液の利用,昭和53年  
普及奨励ならびに指導参考事項,北海道植物防疫協会,205-212.





# Kodak Color Control Patches

© Kodak, 2007 TM: Kodak

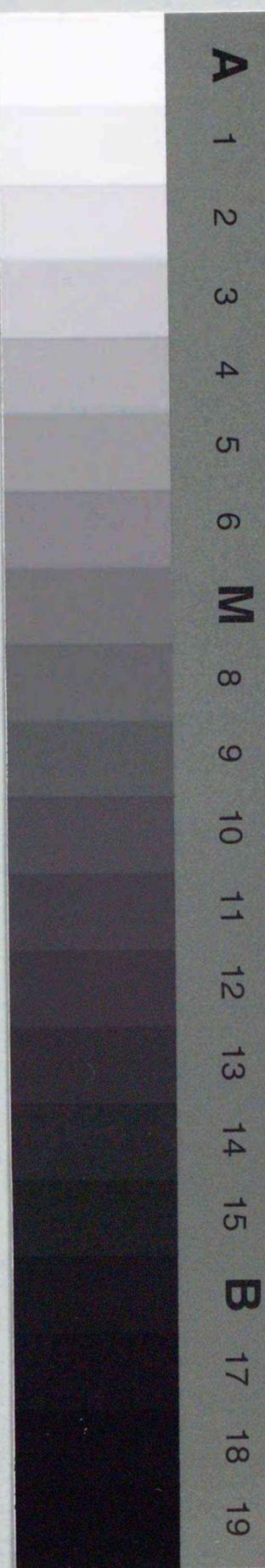


Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black

# Kodak Gray Scale



© Kodak, 2007 TM: Kodak



A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19