〔短報〕

テンサイの圃場堆積貯蔵期間における根重および根中糖分の変動

有田　敬俊

圃場において堆積貯蔵されるテンサイの根中糖分等の変動を把握することは，農家および製糖業者にとって有益な情報となり得るが，その変動の実態については明らかにされてない。そこで，圃場において堆積貯蔵されたテンサイを対象に，貯蔵前後の根重および根中糖分の変動について検討した。その結果，圃場において堆積貯蔵された期間における温度および湿度の推移は堆積された位置によって異なり，堆積の側面では，温度および湿度の低下が大きいことから根重が減少するとともに，凍結後の融解により根中糖分の上昇が見られた。また，中央部，最上部，最下部に堆積されたテンサイは，貯蔵前後で根重の変動は小さいが，根中糖分は貯蔵期間の積算温度が高くなるほど低下することが明らかとなった。

緒　言

テンサイは北海道畑作農業の輪作体系を構成する基幹作物であるとともに重要な甘味資源作物である。テンサイは根重，根中糖分が可能な限り増加，上昇した状態で収穫することが望まれるため，収穫作業は降霜による生育停止が起こる前の時期に集中する。一方，収穫されたテンサイは，通常，製糖所へ運搬されて製糖処理されるが，製糖所の処理能力を超えたテンサイは，製糖所が管理する大型貯蔵施設や専用の集積場に貯蔵されるほか，農家圃場にも堆積貯蔵される（以下，農家圃場における堆積を圃場堆積という）。圃場堆積は，概ね11月～12月の間になされ，生産量全体の１～２割程度を占める。

収穫後におけるテンサイの長期貯蔵は，腐敗[1), 2)]，呼吸[3), 4), 5)]，乾燥[1)]等により，根中糖分の低下や根重の減少を招くことが報告されているが，圃場堆積における貯蔵期間中の根重，根中糖分の変動については明らかにされていない。圃場堆積における貯蔵期間中の根重，根中糖分の変動やその要因を解明することは，同期間中における根重，根中糖分の維持技術の考案に有用な情報となり得る。

以上のことから本研究では，テンサイの圃場堆積の各部位に，予め根重および根中糖分を測定したテンサイを設置し，貯蔵期間中における根重，根中糖分等の変動を明らかにするとともに，その要因について検討した。

試験方法

１　圃場堆積

本研究は2003年～2005年にかけて道内のべ８地点（Ａ～Ｈ）で行った。テンサイの圃場堆積の概略図を図１に示した。圃場堆積の長さは15m～30mまでの差がみられたが，幅および高さは8.0m～10.5m，1.7m～2.1mの範囲にあり，長さが異なる以外は概ね同型状と見なせた（図１，表１）。圃場堆積を被覆するシートは，いずれの地点においても，発泡ポリプロピレン開繊糸で織り込まれた布状シート（以下，シート）を用いられていた。また，Ｂ地点でのみ，ラミネート加工された機密性の高いポリエチレン製シートを内側に重ねて被覆されていた。

調査用のテンサイサンプル（以下，サンプル）は，全地点で中央部（圃場堆積における長さ，幅，高さが概ね

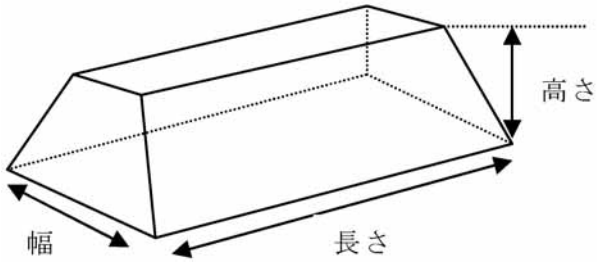


図１　テンサイの圃場堆積（概略図）

平成26年12月３日受理
（地独）北海道立総合研究機構十勝農業試験場（現：同根釧農業試験場，086-1135　標津郡中標津町）
E-mail：arita-takatoshi@hro.or.jp

表１　圃場堆積の大きさ，年次，地域および各作業日

地点	堆積の大きさ（m）			年次	地域	収穫日	堆積貯蔵		根中糖分測定日	
	長さ	幅	高さ				開始日	終了日	貯蔵前	貯蔵後
A	25	9.0	1.8	2003年	道東	11/7	11/8	12/19	11/7	12/22
B	30	9.0	1.9	2004年	道東	10/27	10/28	12/22	10/28	12/27
C	30	8.5	2.1	2004年	道東	10/19	11/14	12/16	10/28	12/27
D	15	10.5	1.8	2004年	道央	10/19	10/31	12/13	10/28	12/27
E	30	9.0	1.9	2005年	道東	10/28	11/4	12/19	10/31	12/27
F	15	8.5	1.8	2005年	道東	10/28	11/10	12/16	10/31	12/27
G	15	10.5	2.1	2005年	道央	10/28	10/30	12/9	10/31	12/27
H	15	8.0	1.7	2005年	道央	10/28	11/7	12/13	10/31	12/27

半分となる部位）および最上部（圃場堆積で最も高い部位でシートに一部が接する部位）に設置した。また，B，E地点では，最下部（圃場堆積で最も低い部位で地面に一部が接する部位）および側面（圃場堆積の側面のテンサイに一部が埋設し，シートに一部が接する部位）にも設置し，４つの側面をそれぞれの向く方位から東面，西面，南面，北面と呼称した。

２　調査方法

いずれの地点においても，調査用のサンプルは，十勝農業試験場で標準的な栽培管理が行われた圃場より収穫された個体サイズが中庸で根腐れ症状が認められないテンサイを供試した。サンプルは20個体を１セットとして，二重のポリエチレン袋に詰め，５℃に設定した冷暗所で圃場堆積による貯蔵開始まで保管した。貯蔵前の根中糖分は収穫日から３日以内に測定した。供試品種は，2003年，2005年が「えとぴりか」，2004年は「のぞみ」を用いた。サンプルは，圃場堆積が作成される前日または当日に各地点へと運搬した。テンサイの重量は，貯蔵の直前にポリエチレン袋から取り出して測定し，その後，サンプルは網袋に移した。１カ所につき，サンプル３～４セットと温度・湿度センサー１台を設置し，各センサーは１時間毎に温度・湿度データを取得するようにすることとした。

圃場堆積は10月28日から11月14日の期間に開始され，12月９日から12月22日の期間に終了した。圃場堆積による貯蔵日数は33日から56日間にあった。圃場堆積の終了日に回収したサンプルは，直ちに重量を測定した後，糸状菌が要因として疑われる綿毛状の胞子（以下，カビ症状）および長さ１cm以上の萌芽が認められた個体数，さらに凍結の発生程度および発生個体数を調査した。その後，サンプルを二重のポリエチレン袋に移し，十勝農業試験場内の５℃に設定した冷暗所で保管した。貯蔵後の根中糖分は，圃場堆積終了日の３日後から18日後までの間に測定した（表１）。

結　　果

１　温度，湿度

各地点の温度，湿度の推移を図２に示した。中央部，最下部における温度，湿度の日変動はいずれの地点においても小さく，貯蔵期間を通しての温度の変動は，11月上旬頃までは貯蔵開始時と同程度かやや上昇傾向で推移し，その後，徐々に温度が低下した。一方，湿度は，中央部および最下部ともに貯蔵期間を通して99％前後で推移した。

最上部の温度，湿度は，日中では温度の上昇と湿度の低下，反対に夜間では温度の低下と湿度の上昇が特徴であった。このような日変動を繰り返しながら，温度は徐々に低下した。ただし，B地点，C地点の12月５日以降に日変動が見られなくなったのは，最上部を被覆するシート上の積雪（55cm，40cm）により，外気の影響を受けにくくなったためと推測される。湿度は概ね95～99％の範囲で推移したが，B地点では前述の降雪日まで，センサー設置場所がシートの近くであったために外気の影響を受け，湿度の低下程度が大きくなった。また，G地点における11月下旬の湿度低下は，強風によりシートが捲れたことによるものと推測された。

側面の温度は，B地点では前述の降雪日まで，最上部と同様な日変動を繰り返しながら徐々に低下し，降雪日以降は０℃前後で推移した。E地点は，全期間で最上面と同様な日変動を示し，11月中旬から12月２日までの期間は０℃前後で，それ以降は東面を除き，概ね－３～－５℃の範囲で変動した。湿度は，B地点では全期間99％前後で推移したが，E地点では湿度の日変動が高い頻度で観測された。

なお，テンサイの収穫後から圃場堆積をするまでの期間および圃場堆積終了後から根中糖分を測定するまでの期間は，サンプルを入れた袋内において温度が４～５℃，湿度が95～99％の条件であった。

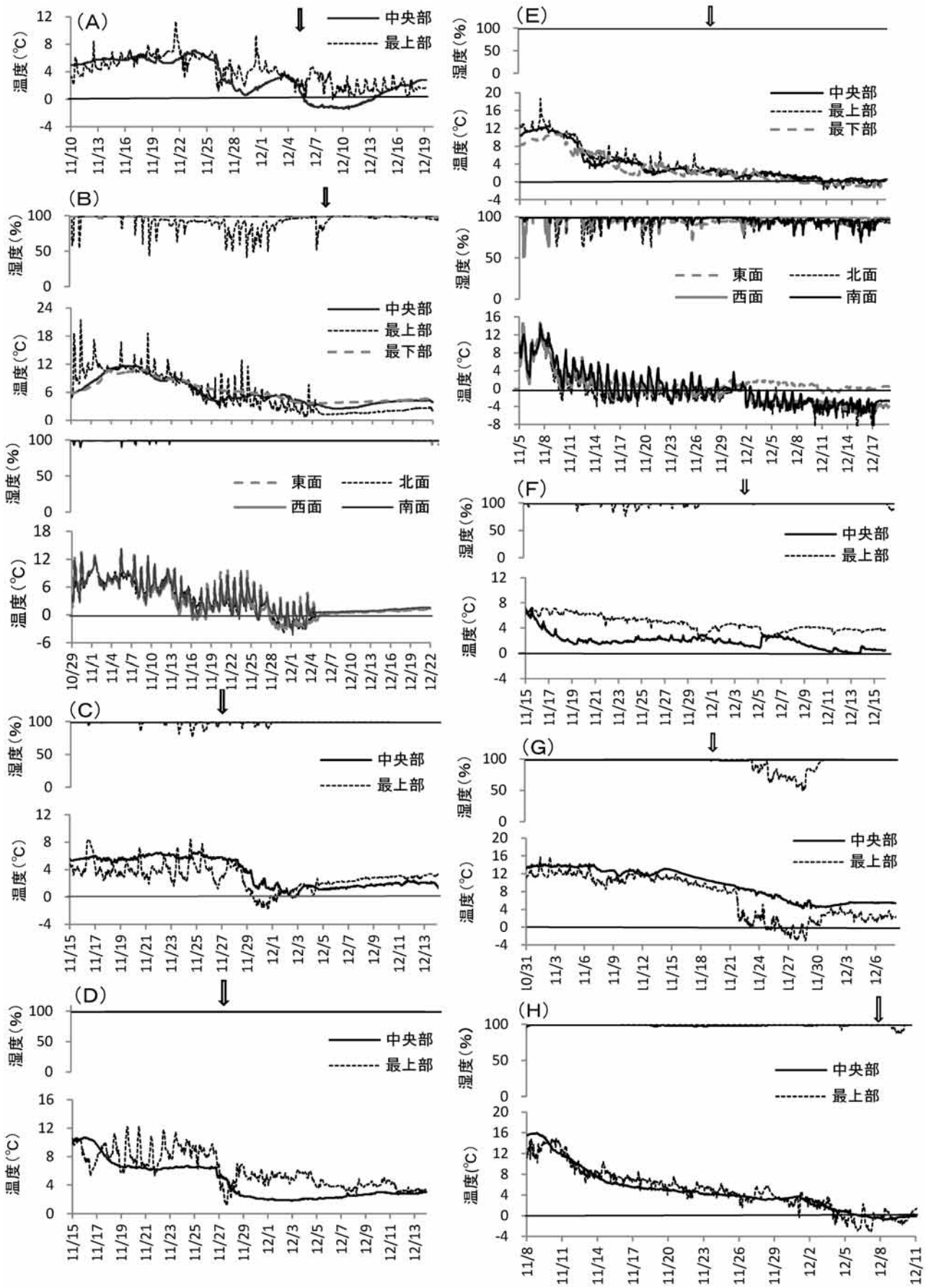


図２　圃場堆積貯蔵中における温度,湿度の推移

注）下矢印は根雪始めを表す

２．根重，根中糖分，根の状態

（１）中央部，最上部，最下部

圃場堆積の中央部，最上部，最下部に設置したサンプルの根重は，18例中７例で減少が認められなかった（表２）。また，減少を示した事例においても，貯蔵前に対する百分比で１％減少が８例，２％減少が３例にとどまり，減少幅は比較的小さかった。一方，根中糖分は18例中６例で貯蔵前に対する百分比で４～７％低下したほか，２％，１％低下した事例が各々５例と全般に低下する傾向がみられ，その低下幅は比較的大きかった。カビ症状の発生は，テンサイのタッピング面および根端の破損部位で認められ，その発生率は中央部で０～100％，最上部で８～93％と地点間の差が大きく，最下部では12％，21％であった。萌芽発生根率は，中央部で10～90％，最上部で０～82％，最下部で８％，91％と地点間の差が大きかった。カビ症状および萌芽発生根率は，いずれにおいても堆積した位置による差は判然としなかった。また，中央部，最上部，最下部では，テンサイの個体において半分以上が凍結した事例は認められなかった。

（２）側面

圃場堆積の側面に設置したサンプルの根重は，全ての事例で減少が認められ，Ｂ地点における根重の減少程度は貯蔵前に対する百分比で１～４％，Ｅ地点では４～12％であった（表２）。根中糖分は，８例中６例が貯蔵前に対する百分比で２％低下から１％上昇の範囲にあったが，Ｅ地点の西面，南面でそれぞれ2.8％上昇した。一方，この西面，南面の糖量（根重×根中糖分）は，貯蔵前に対する百分比で各々2.5％減少した。カビ症状の発生根率はＢ地点で２～５％，Ｅ地点で０～25％の範囲にあった。萌芽の発生は，Ｂ地点では０～10％，Ｅ地点では０～２％の範囲で認められた。テンサイの個体において半分以上が凍結した事例は，Ｅ地点の北面，西面，南面で認められ，各々93％，83％，90％といずれも高い値であった。

表２　圃場堆積貯蔵における根重，根中糖分，根の状態の変動

位置	地点	貯蔵前根重（kg/個）	根重減少程度[1]	貯蔵前根中糖分（%）	根中糖分低下程度[1]	カビ症状発生根率[2]（%）	萌芽発生根率[2]（%）	凍結発生根率[2]（%）
中央部	A	1.08	98	19.3	99	未調査	未調査	未調査
	B	1.12	100	17.4	96	97	24	0
	C	1.10	99	17.0	98	85	18	0
	D	1.09	100	17.0	95	100	90	0
	E	1.20	99	18.3	101	7	10	0
	F	1.22	99	18.3	100	25	17	0
	G	1.20	99	18.3	93	22	15	0
	H	1.21	100	18.3	99	0	10	0
最上部	A	1.09	98	19.3	99	未調査	未調査	未調査
	B	1.12	98	17.4	98	47	82	0
	C	1.12	100	17.0	98	28	20	0
	D	1.13	99	17.0	94	93	78	0
	E	1.20	100	18.3	98	10	5	0
	F	1.21	99	18.3	99	8	13	0
	G	1.20	100	18.3	96	13	3	0
	H	1.21	100	18.3	98	23	0	0
最下部	B	1.08	99	17.4	96	21	91	0
	E	1.20	99	18.3	99	12	8	0
東北西南	B	1.14	96	17.4	100	4	2	0
		1.09	99	17.4	98	2	5	0
		1.07	97	17.4	99	2	0	0
		1.09	98	17.4	98	5	10	0
東北西南	E	1.20	95	18.3	98	25	2	0
		1.21	95	18.3	101	0	0	93
		1.20	96	18.3	102	0	0	83
		1.20	88	18.3	108	2	2	90

注１）根重，根中糖分における貯蔵後／貯蔵前×100の値

注２）サンプル全個体のうち，カビ症状（綿毛状の胞子），萌芽（1cm以上の萌芽），凍結（根の半分以上）が発生した個体の割合

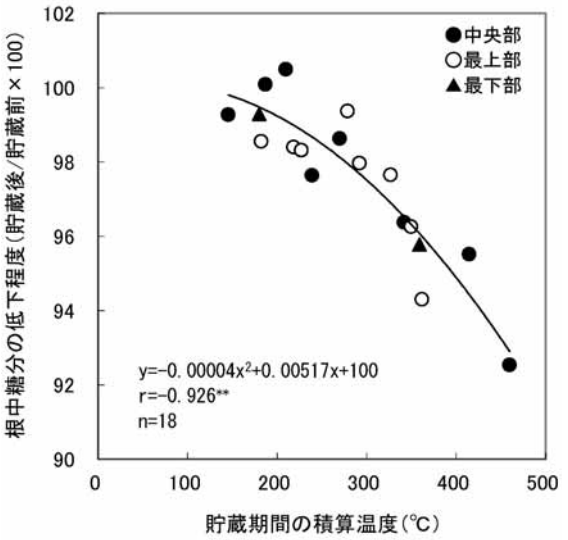
考　察

圃場堆積したテンサイの根重および根中糖分の変動は，前者よりも後者で顕著に表れ，その低下程度は地点および堆積した位置による差がみられた。

圃場堆積期間中の温度および湿度の変動傾向が比較的類似し，根重の減少程度が小さかった中央部，最上部，最下部のデータを用い，根中糖分の低下要因を解析した。その結果，根中糖分の低下程度とカビ症状発生根率，萌芽発生根率との間には５％水準で有意差は認められなかったが（表３），貯蔵中の積算温度との間には１％水準で有意差（r=-0.926**）が認められた（図３）。収穫後のテンサイは，呼吸により放出される二酸化炭素量が多いほど根中糖分の損失が多く[3]，二酸化炭素放出量は温度が高い条件でより多いことから[4]，本研究における根中糖分の低下は，積算温度が高まるほど増加するテンサイの呼吸によるものと推察された。なお，本研究の根中糖分の変動は，圃場堆積の前後における冷暗所での保管期間の影響を受けるが，同期間の温度，湿度条件は，圃場堆積の中央部，最上部，最下部と大きな差がなかったことから，その影響は小さいものとして仮定した。

表３　貯蔵期間における根中糖分の低下程度と各要因の相関

項　　目	相関係数
カビ症状発生根率	-0.352
萌芽発生根率	-0.337



注）貯蔵期間中の積算温度は，圃場堆積による貯蔵の前後における冷暗所での保存期間を含み，0℃未満を除外して算出した。
**有意水準1%

図３　貯蔵期間の積算温度と根中糖分の低下程度の関係

一方，根中糖分を低下させる要因の一つに腐敗があるが[5]，本研究に見られた状況は，根表面の一部に白色の菌糸が綿状に見られる発病初期段階であったことから，根中糖分の低下に与える影響は小さかったと推測された。萌芽の発生は各地点の各位置で概ね認められたが，貯蔵日数が比較的短期間で温度が低い条件であったため芽の伸長は小さく，根中糖分の低下に与える影響は小さかったと推測された。

以上のことから，圃場堆積において根中糖分の低下を小さくするためには，貯蔵期間中の積算温度を小さくすることが最重要であることが示された。本研究の結果から，貯蔵開始翌日の平均温度と貯蔵開始日から20日間の積算気温の間には５％水準で正の相関が認められたことから（中央部，最上部，最下部のデータを使用，r=0.5101*，n=18），貯蔵期間中の積算温度を縮小させるため，圃場堆積を可能な限り低温時に作成するなど，貯蔵開始時におけるテンサイの温度を下げることが有効と推察された。

根重の減少は，圃場堆積の中央部，最上部，最下部では，最も減少しても（18例中３例）貯蔵前に対する百分比で２％であったが，側面では全事例で２％以上の減少を示した。側面は通気性のあるシートを挟んで外気と接し，最上部に比べ風当たりが良く，積雪による被覆の影響が小さいため，湿度が低下しやすい位置といえる。貯蔵期間の湿度が低い条件では根重の減少程度が高くなることが知られていることから[1]，本研究の側面における根重減少は，湿度低下による根の表面からの水分蒸発が要因として推測された。一方，ポリシートで二重被覆したＢ地点の側面では，圃場堆積における貯蔵期間の湿度が概ね99％を維持したのにもかかわらず，根重が減少していたことから，乾燥以外の要因により根重減少を招いた可能性が考えられたが，その要因は明らかにできなかった。

圃場堆積において根の表面が凍結する状況は，本研究においてしばしば見られたが，根の半分以上が凍結した事例はＥ地点の側面のみで認められた。これは，12月３日～12月12日の外気における平均気温（-7.0℃）が平年値より-3.9℃低かったことに加え，シートが１重であったため保温効果が不足したことに起因するものと推測された。本研究では調査しなかったが，根の凍結は生体機能の喪失による腐敗を招いて還元糖の増加などの品質低下を起こすことが知られており[6]，凍結は可能な限り避けることが重要とされる。一方，本研究において，テンサイの半分以上が凍結した現象がみられたＥ地点の北面，西面，南面において，根中糖分が上昇する結果が得られたが，これは根の細胞壁が凍結により破壊され，根中糖分を測定した時期に融解が起こり，細胞内部の水分

が溶出したことで相対的に根中糖分が高まったと推測され，決して好ましい状態とはいえないといえる。以上のことから，側面に位置するテンサイは，貯蔵により根重，根中糖分あるいは根の状態が，湿度の低下や凍結により変動する危険性があるため，シートを二重にして使用する，シートの内側にオガクズなど外気を遮断する効果が高い資材を被せるなどの保温対策を行うことが重要であると考えられる。

謝辞　本研究を遂行するにあたり，社団法人北海道てん菜協会　黒澤厚基氏には，調査地点の設置等に多大な御協力を頂いた。また，十勝農業試験場　田中静幸氏、鳥越昌隆氏，松永浩氏，沢口敦史氏，田縁勝洋氏には，研究実施において御協力を頂いた。記して深く謝意を表します。

引用文献

1）上田信次ら“テンサイ貯蔵法に関する研究　第１報　急速冷却がテンサイ根に及ぼす影響”てん菜研究会報．41，47-52（1999）
2）神沢ら.“テンサイ貯蔵腐敗病に関する研究　第３報　貯蔵腐敗病（Botryis sinerea）の被害について”てん菜研究会報．28,（1986）
3）木村正洋ら．“テンサイの貯蔵中におけるCO_2の発生量と糖分損失について”てん菜研究会報．32，102-106（1990）
4）早川昌志．“貯蔵中のテンサイの呼吸について”てん菜研究会報．33，47-52（1991）
5）細川定治．甜菜，p121, 養賢堂（1980）
6）富山信夫ら“原料てん菜の貯蔵法について　第１報　貯蔵の状態と品質の変化”てん菜研究会報．25，211-215（1983）

Fluctuation in root weight and sugar content during storage of sugar beet root on the field .

Takatoshi Arita

Hokkaido Research Organization Tokachi Agricultural Experiment Station（Present; Hokkaido Research Organization Konsen Agricultural Experiment Station, Nakashibetsu, Hokkaido, 086-1135 Japan）
E-mail：arita-takatoshi@hro.or.jp