

第6章 被覆材のバレイショ収穫機に対する適用

第1節 実験目的並びに実験方法

1. 実験目的

バレイショ収穫機は早期収穫の可能性を考慮して、処理工程が短いドラム式土砂分離機構を有する機種をとりあげた。この収穫機を用いて収穫時期別に損傷の発生状況を調査すると共に、定置

実験によって損傷の発生源を究明し、被覆材を施用する等損傷防止対策を施し収穫機の改良の具体化を図らんとするものである。又早期収穫の剥皮対策も実験の目的の一つとなっている。

2. 実験方法

1) 材 料

男爵薯を供試したが本実験は1975～1976年の2

Table 6-1. Conditions of potatoes

harvesting date			Plant spacing cm	Plant length cm	Tuber weight g	Yield kg/10a	Starch value %	Hardness kg
1975	July	10	25.0	54.6	78.1	2182	12.5	4.47
	July	25	23.9	60.5	120.6	2975	13.3	4.56
	August	6	23.8	58.5	124.6	3191	—	4.60
1976	July	13	30.3	61.9	61.7	2249	—	—
	July	20	31.3	67.7	76.0	2587	—	4.55
	August	3	30.3	65.0	91.0	3201	—	4.60

年間にわたって行われたものである。塊茎の硬度はバネ式硬度計で測定したが、時期が経過するに伴い硬度が増加した(表6-1)。

2) 供 試 機

供試機は図6-1に示すように牽引式のバガタ

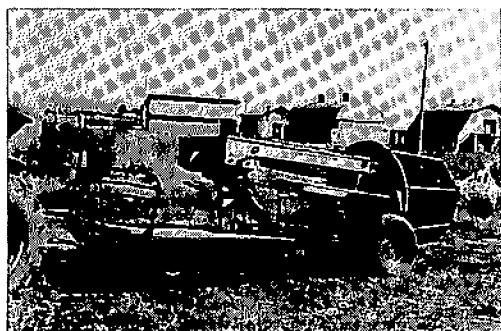


Fig 6-1. Potato harvester having a drum type of soil separation

イブであり、掘取刃はL形の2ポイントで刃長が316 mm、刃幅が590 mmである。土砂分離ドラムのワイヤ径は7 mmでワイヤ間隔は25.5 mmとなっており、このワイヤにゴムの仕切板が付いていて塊茎を拾上げて選別コンベヤに移すようになっている。このドラムは供給量に応じて回転が3段階に切替えが出来る構造となっている。

3) 測定方法

測定区間を10 mとして、この間の塊茎の全量を採取した。損傷調査は塊茎を水で洗った後、損傷塊茎を外傷とすり傷に分けた。外傷は厚皮に達した傷とし、すり傷は周皮にすれた状態で生ずる軽い傷であり、剥皮とは区分できる損傷である。

第2節 実験結果及び考察

ドラムワイヤ等に被覆せず、図6-2に示す如き繰出し仕切板が4枚、受上げ仕切板は8枚とし

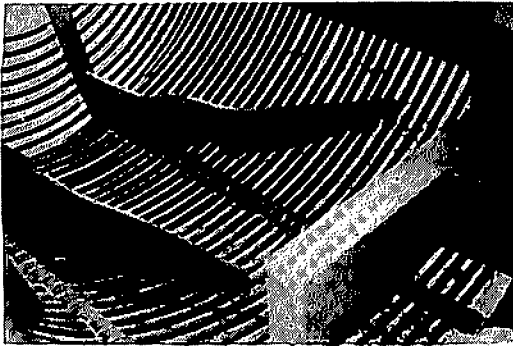


Fig 6—2. Partition plates set on drum wires

た場合について収穫時期を変えて行った結果を表6—2に示した。この表から明らかなように極く早い時期である7月10日の収穫では損傷が62.4%と多発し、無傷塊茎は18.1%に過ぎない。しかし2週間後の7月25日になると外傷が減少して無傷が増加した。しかし図6—3に見るように、損傷の著しいものがあった。8月6日は7月25日とほとんど差は無いが、8月12日は損傷が更に減少し、無傷塊茎は63.7%と高い割合を示している。

剥皮の発生は時期の違いによってその差が著しく、7月10日の極早収穫では62.3%と剥皮の発生

Table 6—2. Damage of potatoes caused by harvester at different harvesting periods

Date of harvesting	Travel speed m/s	Drum speed rpm	Feed rate kg/min	Damage %		Scuffing %	
				Severe	Slight	Severe	Slight
July 10	0.4	21.0	38.7	62.4	19.5	62.3	34.6
July 25	0.39	28.7	67.0	38.9	27.2	8.7	43.9
August 6	0.24	23.7	32.0	44.2	25.3	10.6	56.6
August 12	0.19	15.6	25.7	23.0	13.3	—	—

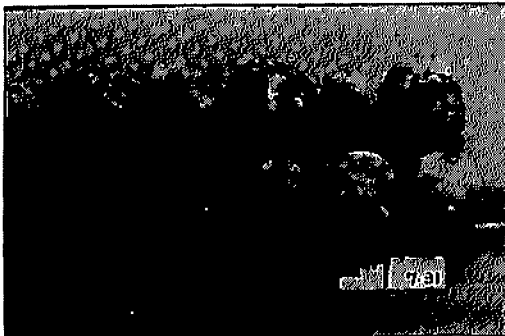


Fig 6—3. Damage caused by colliding with drum wires

が著しいが、時期が経過するにつれて10%前後に減少し、剥皮が生じていない塊茎が40%前後に増加した。しかし損傷は8月12日でも23%生じているので、この損傷発生原因を明らかにするために定置実験を行った。その結果受上げ仕切板、繰出し仕切板から漏れた塊茎がドラムワイヤ上に落下し、この時のワイヤの衝撃で圧碎損傷が生じることが判明した。定置実験の損傷発生割合は表6—3に示した通りである。

ドラムが1回転した時ドラムから受上げられた塊茎が途中で仕切板から落下せずに選別コンベヤに

Table 6—3. Occurrence of damage in statinal experiment on the harvester

Number of tubers on selecting conveyer		Number of tubers on partition plates		Number of tubers on drum wires		Percentage of damage %	Number of rotation of drum
Whole number	Damage	Whole number	Damage	Whole number	Damage		
11	0	—	—	4	3	20.0	1
10	0	3	2	2	1	20.0	1
13	3	—	—	2	2	33.3	2 1/2

運ばれた場合には傷は生じない。しかし受上げられる途中で仕切板から漏れて落下した塊茎はその大部分に損傷が生じた。仕切板の上に載っている塊茎は一度落下した塊茎が混在するので、損傷が含まれている。更にドラムを2回半回転させると、選別コンベヤ上にも落下塊茎が入ってくるので、損傷が含まれ、一方ドラムに残った塊茎は100%の損傷となっている。

以上の結果から7mm径のドラムワイヤによる衝撃が圧砕重傷の原因であるので、この解決には塊茎の落下を防止することと、衝突した場合にも衝撃を減少させるように被覆材を用いることが必要となった。

損傷対策として被覆材に厚さ1.5mmのビニールを用いてドラムワイヤを被覆した結果、表6—4に示したように、損傷（特に圧砕）が減少し、逆

Table 6—4. Occurrence of damage when covered with vinyl of 1.5 mm thickness

	Travel speed m/s	Drum speed rpm	Feed rate kg/min	Damage %		
				Severe	Slight	Total
1 st gear	0.25	17	24.5	19.9	12.6	32.5
	0.24	24	23.5	10.6	9.9	20.5
	0.25	30	24.5	—	—	34.1
2 nd gear	0.27	17	26.4	10.3	15.9	26.2
	0.35	24	34.2	27.8	12.1	39.9
	0.28	30	27.4	13.3	16.2	29.5
3 rd gear	0.66	17	64.5	0	3.9	3.9
	0.66	24	64.5	0	10.1	10.1
	0.60	30	58.7	16.8	9.9	26.7

に無傷塊茎が70%前後に増加し、被覆効果が認められた。供給量が増すと、無傷塊茎が増加する傾向があるので、損傷を減少させるには土砂分離能力を若干低下させることも必要である。又ドラム回転数は低速の方が損傷は少ないが、供給量との関連から塊茎及び土砂を順調に吞込むような調整が必要になる。

塊茎が受上げ仕切板から漏れた場合には落下位置が高いので、ビニール被覆では十分な緩衝能力

が得られない。そこで塊茎が受上げ仕切板から漏れてもドラム底に落下しないように選別コンベヤからゴム板を下げ、更にドラムワイヤに3mm厚さのゴムを被覆した結果、表6—5に示すように外傷は減少し、ドラム回転数が24rpmの時では、作業速度が1速から3速までのいずれの場合でも外傷は5%以下に止まっている。又同時に塊茎に過度の動きを与えないので、すり傷も減少した。

Table 6—5. Efficacy of covering drum wires with rubber of 3 mm thickness

	Travel speed m/s	Feed rate kg/min	Drum speed rpm	No damage %	Severe damage %	Slight damage %
I	0.27	29.2	17	82.0	9.8	8.2
	0.28	30.2	24	95.5	3.7	0.8
II	0.42	45.4	24	91.1	4.7	4.2
III	0.68	73.4	24	93.8	1.4	4.8

収穫する以前に茎葉のみを切断除去する前処理による塊茎の物理的变化は、表6—6に示すように塊茎の硬度は8月3日（茎葉除去後4日目）の茎葉除去区が増している。

Table 6—6. Change of hardness and peeling of tubers after removing haulms

Measuring items	With or without haulms	Date of harvesting			
		July 20	July 24 4 days after removing	August 3 14 days after removing	August 17 28 days after removing
Hardness kg	Without	4.55		4.49	4.59
	With			4.60	
Peeling kg	Without		2.89	3.88	
	With		3.13	over 5	

Haulms were removed at July 20

剥皮については前処理による差が明らかに現れ、4日目で無処理が2.89kgであるのに対して前処理区では3.13kgを示し、更に14日目と日数が経過した場合には無処理が3.88kgであるのに対して処理区では5kg以上を示している。

実際に収穫機を用いて実験した結果、表6—7に示したように外傷については処理後4日目で

は差が見られないが、9日目の7月29日では処理区が1.1%と減少しており、同時にすり傷の発生も少ない。

剥皮については9日目のみについて行っているが、剥皮の大きさが10.1%から0.8%と著しく減少し、剥皮無しが43.0%と増加しており前処理による効果が明らかに認められた。

Table 6—7. Condition of damage originating when harvested by harvester after removing haulms

Date of harvesting	With or without haulms	Travel speed rpm	Drum speed rpm	Feed rate kg/min	Damage %		Scuffing %	
					Severe	Slight	Severe	Slight
July 24	Without	0.32	22	44.6	4.9	4.5	—	—
	With	0.45	23	48.6	4.8	4.9	—	—
July 29	Without	0.33	24	45.7	13.5	4.8	10.1	54.7
	With	0.28	17	38.8	1.1	2.8	0.8	52.3

Haulms were removed at July 20

第3節 摘 要

ドラム式土砂分離機構を有するバレイショ収穫機を供して損傷防止のための対策を施した。第4章で論じた通り、実際の収穫作業においても収穫時期が経過するにつれて塊茎の損傷は減少した。特に剥皮の発生割合は時期の経過による減少が著

しい。

定置実験によって塊茎がドラムワイヤ(7mmφ)に衝突すると著しい圧砕を生じることが明らかになり、1.5mm厚さのビニルを被覆した結果、前年の8月12日の23%の外傷に対して、7月13日～14日の早期収穫で20%以下に止まった。しかしビニル被覆では十分な衝撃効果が期待出来ないの

で、3 mm厚さのゴムを被覆し、更に塊茎が仕切板から漏れてもドラムワイヤの上に落下しないようにゴム板を下げた結果、外傷は5%以下に減少し効果が認められた。

又収穫前の茎葉除去処理によって周皮の外側からの硬度が増し、且つ剥皮も生じ難くなり、収穫機による損傷並びに剥皮の発生は減少した。

第7章 総 括

現在導入されている食用バレイショ収穫機は輸入、国産機と種類も多いが、損傷の発生がかなり見られ、改善目標となっている。これが更に1月以降出荷される貯蔵バレイショの損失に影響し問題となっている。タマネギについても2～3年前からハーベスタの普及が高まり従来のデガタイプに代るものとして期待されるに至っているが、バレイショと同様に貯蔵中の品質劣化の問題をかかえている。

損傷の発生要因には収穫後のハンドリング時の衝撃等がその一因として指摘出来るが、収穫機による損傷発生も大きな比重を占めている。収穫機の損傷防止対策は種々行われているが、損傷発生機構については不明な点が多く、被覆材にゴムやビニルが使われ、又形状に工夫する等種々のものがあるが、それらの使用根拠は必ずしも明らかではない。

収穫機はロッドコンベヤを多く用いており、10 mm ϕ 以下のロッドとの衝撃では著しい損傷を伴う場合があり、又タンク或はコンテナ投入時の落下衝撃を緩和するためにクッションシートを置いているが、セット高さに問題が残る。従ってこの種の原因による損傷を解決すべく、本研究では衝撃体として直径の異なる丸鋼、木板及び鉄板を使用し、損傷発生機構を検討すると同時にゴム及びビニルの衝撃に対する物理的性質の面から緩衝効果を明らかにした。

1. 収穫機による損傷発生の実態

タマネギ収穫機と食用バレイショ収穫機について損傷の実態を調査した。タマネギ収穫機は現在市販され普及している代表的な2種の収穫機をとりあげた。1つは直接収穫を行うコンバイン型収穫機であり、他の1つは地干しを前提とするピッカ型である。コンバイン型収穫はタッピングロール回転数が187 rpmと比較的低いため損傷の発

生は少なく、打撲が0.4～1.8%，外傷が1.5～2.2%，皮むけが0.6～3.5%であった。タマネギをコンテナへ投入する際に落下衝撃により損傷が生ずるので、空コンテナとタマネギを1/2 堆積した時、更にシートで受けて損傷程度を調査した結果、打撲は空コンテナ時で1.8%生じ、シートで受けた時には0.4%と僅少であった。

ピッカ型収穫機はタッピングロール回転数が高いので、多くの打撲が発生しているが、外傷はコンバイン型と同程度の発生となっている。ピッカ型の場合についても、空コンテナへの投入時には、3.3%と多くの打撲が発生した。又タッピングロールの回転数を変えた場合には、回転数が高い時程損傷が多くなり、回転数が200 rpmの時打撲、外傷がそれぞれ1.1%，0.7%であったが、回転数を310 rpmに高めた場合には打撲並びに外傷はそれぞれ3.3%，2.9%と増加している。皮むけはタッピング時に発生するのが殆んどであるが、打撲及び外傷は衝撃による場合が多く、空コンテナ投入時の打撲と外傷の合計は、コンバイン型で4.0%であり、ピッカ型では6.2%に達している。

バレイショ収穫機は国産、輸入機合わせて21機種について損傷発生の実態を調査した。各収穫機毎の損傷(大)、(小)の平均値はそれぞれ0.5～3.4%，0.3～13.3%の範囲にあった。又剥皮については(大)が0.2～20.7%，(小)が2.3～32.0%と機種によって多発している。更に損傷発生割合の最大値を各機種毎にみると、損傷(大)は1.0～5.2%であり、損傷(小)は0.6～13.9%となって機種間の差が大きく現れている。しかし実際上は損傷の大小を区分する必要性が無いので、損傷の大小を合計すると、その損傷割合が10%以上に達する機種が1台あり、7～10%発生機種は5台、5～7%のものが7台となっており、5%以上の損傷割合をもつ収穫機は全体の62%を占めた。

2. タマネギの落下衝撃による 損傷発生機構について

1) 最大加速度と衝撃の吸収

タマネギ及び木製球が落下して鉄板と衝突した場合にはタマネギが変形を生ずるので、衝撃時の最大加速度は低下し、タマネギが大きい程この最大加速度は低い値をとる。一方木球は落下高さが20cmの場合には弾性体とみなし得るので、タマネギの変形に比較すると、木球の変形は無視できる。従ってタマネギ自体による衝撃吸収は次の如くタマネギが受ける最大加速度の比で表すことが出来る。

$$C_0 = \ddot{a}_{\max(o-p)} / \ddot{a}_{\max(w-p)}$$

C_0 タマネギ、木製球が鉄板に衝突した時の最大加速度比

$\ddot{a}_{\max(o-p)}$ タマネギが鉄板と衝突した時の最大加速度

$\ddot{a}_{\max(w-p)}$ 木製球が鉄板に衝突した時の最大加速度

この C_0 の値は落下高さが20cmの時にLL玉、L玉、M玉でそれぞれ0.417, 0.458, 0.488であり、タマネギが大きい程衝撃の吸収は大きい。又鉄板にゴム被覆した場合のゴムによる衝撃力の吸収は、前式と同様に木球がゴム被覆板と鉄板のみの時の最大加速度の比で表される。

$$C_R = \ddot{a}_{\max(w-pR)} / \ddot{a}_{\max(w-p)}$$

C_R 木製球がゴム被覆鉄板と鉄板に衝突した時の最大加速度比

$\ddot{a}_{\max(w-pR)}$ 木球がゴム被覆鉄板に衝突した時の最大加速度

$\ddot{a}_{\max(w-p)}$ 木球が鉄板に衝突した時の最大加速度

同じ大きさの場合には落下位置が高くなるとゴムによる衝撃吸収量は減少する。又木製球の大きさの違いによる吸収量は落下位置が低い時にはLL球の吸収量が高いが、落下高さが高くなるとゴムの弾性範囲を越えて鉄板の影響を受けるので、小さい木球の方が吸収量が多い。

2) 衝撃時の最大変形深さと損傷

タマネギは衝撃を受けて変形するが、損傷の発生深さと最大変形深さとは一致するとは限らない。しかし変形深さの増加によって損傷が発生するので、最大変形深さから損傷の発生を推定することが出来る。タマネギの場合には落下高さが20cmを越えると損傷が著しくなるので、HERZの衝撃理論の適用はできない。タマネギの損傷発生限界を示す最大変形は2mm程度であり、これ以下の変形では損傷は発生しないとの結果を得た。タマネギ相互の衝撃の場合は、落下高さが20cm以下ではいずれの大きさについても損傷は生じないが、落下高さが40cmになると損傷が発生し、60cm高さでは損傷の発生深さは8mmになった。

タマネギ相互の衝撃による損傷発生は、木板又は鉄板の衝撃に比較すると著しく少なく、且つ落下高さに対して比例的な増加傾向を示し、次の実験式で示される。

$$D_{d(LL-L)} = 0.250 h - 6.000$$

$$D_{d(L-L)} = 0.177 h - 4.200$$

$$D_{d(M-M)} = 0.170 h - 4.000$$

D_d 損傷の発生深さ

h 落下高さ

サフィックス LL, L, M タマネギの大きさ

但し $D_d < 0$ の時は $D_d = 0$ とする

落下高さ20cm以下ではHERZの衝撃理論の適用が可能であるが20cm以上になると圧碎等の重損傷の発生によりHERZの理論は適用出来ない。

タマネギと丸鋼については、丸鋼を次式により球の半径に補正することによってHERZの理論を適用することが出来た。

$$R'_1 = \frac{2}{\pi} \sqrt{R_1 R_2}$$

R'_1 丸鋼の球の半径への補正値

R_1, R_2 タマネギ、丸鋼の半径

丸鋼を衝撃の対象とした場合はタマネギ相互の衝撃と同様に損傷の発生深さは落下高さに比例的関係が見られ次式で示される。

$$D_{d(LL-b)} = 1.006 h - 2.851$$

$$D_{d(L-b)} = 0.343 h - 0.033$$

$$D_{d(M-b)} = 0.414 h - 1.923$$

サフィックス b は丸鋼を示す

但し $D_d < 0$ の時は $D_d = 0$ とする。

タマネギが損傷を発生しない安全限界を示す最大変形深さは1.55~1.95mmと2mm以下を示しており、木板やタマネギの衝撃で示された限界値が丸鋼に対しても適用された。丸鋼にゴムを被覆することによって衝撃を緩和することができる。この場合の被覆効果は最大変形深さによって次式で示される。

$$D_{\max(bR1)} = 0.138 h^{2/3}$$

$$D_{\max(bR2)} = 0.143 h^{2/3}$$

$$D_{\max(bR3)} = 0.148 h^{2/3}$$

$bR1, bR2, bR3$ 厚さ1mm, 2mm, 3mm
のゴムを丸鋼に被覆

更に接触時間が長い衝撃は損傷の発生が大きくなるが、落下高さが20cm以下であれば、HERZの理論の適用ができることが明らかになった。タマネギの大きさの差による接触時間の増加割合(t_p)は次式で示される。

$$t_p = t_{(0)} / t_{(w)}$$

t_p タマネギ、木製球が鉄板に衝突した
時の接触時間の比

$t_{(0)}, t_{(w)}$ タマネギ及び木製球が鉄板と衝突した
時の接触時間

t_p の値はLL玉が2.062~2.830, L玉が2.354~2.482であり、LL玉が大きな値をとるので損傷発生の危険性が高いことを示す。

タマネギ相互の衝撃時の最大接触応力は次式で表される。

$$S_{\max(LL-LL)} = 9.663 h^{1/3}$$

$$S_{\max(L-L)} = 9.734 h^{1/3}$$

$$S_{\max(M-M)} = 9.748 h^{1/3}$$

上式からタマネギは小さくなる程最大接触応力は大きくなり、損傷が生じ難い。損傷発生の限

界を示す最大接触応力はLL玉, L玉, M玉についてそれぞれ 17.59, 17.72, 17.75 kg/cm²であり、小さい玉程応力は高い。

3. バレイシヨの落下衝撃による 損傷発生機構について

塊茎と鉄板との衝撃の場合の損傷に対する安全限界を示す最大変形はL玉, M玉, S玉がそれぞれ2.19mm, 2.23mm, 2.26mmであり、この時の落下高さがそれぞれ30cm, 50cm, 70cmであり、塊茎が小さい程損傷が発生し難いことを示している。塊茎相互の衝撃については同一大きさの塊茎の場合、落下高さ100cmの時L玉は損傷を生じたが、他の玉は損傷が無い。この時の最大変形はL玉, M玉, S玉でそれぞれ2.68mm, 2.23mm, 1.97mmであり、L玉のみが損傷発生限界値2.19~2.26mmを越えている。塊茎の大きさが異なる場合の衝撃については、落下塊茎がL玉であり、被衝撃塊茎がS玉の場合には、S玉は著しい損傷を受ける。これはL玉がS玉に衝突した時は接触面積が小さくなるので、最大接触応力が最も大きな値となり、S玉の最大変形深さが増加し、変形の許容限界を越えたためであり、ここでは亀裂を生じている。塊茎と丸鋼の衝撃については損傷発生限界最大変形は7mm径に対しては1.79~1.92mmであり、小さい変形で損傷が生じる。10mm径丸鋼の場合の最大変形深さは1.87~2.01mmであり、7mm径と類似した値であるが、15mm径以上の丸鋼の最大変形深さは2.05~2.40mmを示し、直径が大きくなると損傷が緩和される。更に直接損傷部から派生した亀裂を含めた損傷の場合についてみると、7mm径丸鋼の衝撃では圧砕が発生する高さはM玉, S玉が25cmであるのに対してL玉は20cmであり低くなっている。しかし丸鋼径が25mm以上になると塊茎の大きさの違いによる差が少なくなる。打撲損傷は圧砕の場合と同様な傾向を示すが、損傷が発生する落下位置が更に低くなり損傷防止対策はより困難を伴う。

4. タマネギとバレイシヨの 損傷発生機構の比較

タマネギは鱗葉から成り鱗葉が層状に重なっているため、損傷の発生は内部へ向って収束する形で現れる。しかしバレイショは皮層部、維管束部及び髓部等から成っているが、タマネギの鱗葉の重なりと異なり単一組織とみることができる。衝撃を受けると直接的に生じた損傷部分の他にこの直接損傷部から内部及び周辺に向って亀裂が派生する。即ちタマネギに発生する損傷は内部に向って収束するが、バレイショに生ずる損傷は内部に対して拡散する傾向がある。

以上の如くタマネギとバレイショは組織構造が異なるので、損傷の発生深さについても違いが見られ、タマネギの損傷の発生深さは落下高さに対して直線的な増加を示す。しかしバレイショに生ずる損傷は亀裂が伴うので落下位置が低い段階で損傷の侵入度が急激に行われて立上りが大きく現れ、その後は横這い状態が続く。又最大変形深さについてもタマネギとバレイショの物理的性質の違いが現れる。即ち損傷が発生しない安全限界を示す最大変形深さは、タマネギの場合が1.66～1.84mmであるのに対してバレイショの場合は2.19～2.26mmであり、タマネギがバレイショより損傷が生じ易いことが示された。

5. バレイショの収穫時期別損傷

収穫時期が早い7月20日の塊茎がそれ以降の時期に比較して特に損傷が発生し易い。鉄板との衝撃の場合には落下位置が高くなると、周皮が軟化するか又は変色を示し、場合によっては裂傷を生じる。時期の早い塊茎は周皮が変色する場合が多く、一方時期が遅い時の塊茎は裂傷となることが多い。

丸鋼との衝撃の場合には圧砕損傷又は裂傷の重傷は7月20日の早い収穫時期において低い落下位置で発生し、7月27日以降に比較して損傷が発生し易い。損傷が発生しない安全限界最大変形深さは7月20日、7月27日及び8月3日のものでそれぞれ2.11mm、2.39mm、2.56mmであり、収穫時期が早い程少ない変形深さで損傷が生ずることになる。又丸鋼衝撃の場合の安全限界最大変形深さは7mm径のもので1.8mm以下であるが、10mm径以上に対しては2.0～2.4mmであり、7mm径の

場合に損傷が発生し易い。

鉄板への衝撃に対しては安全限界最大接触応力は7月20日、7月27日、8月3日でそれぞれ21.50 kg/cm²、30.01 kg/cm²、33.88 kg/cm²であり、時期が経過するにつれて最大応力は増加し、損傷が生じ難くなっている。

6. 被覆材による損傷発生防止

1) 振子衝撃装置による最大加速度と損傷

塊茎と鉄板の衝撃の場合には圧砕損傷が伴わず反撥作用が大きいため最大加速度は最も大きな値を示した。落下高さが100cmの時には裂傷を生じたが、この場合は衝撃力の吸収が少ないので、最大加速度は638Gにも及んだ。

丸鋼との衝撃の場合には丸鋼の直径が小さく、且つ落下位置が高い程塊茎に生ずる損傷は著しくなるので、最大加速度は低下する。7mm径、10mm径の丸鋼の場合は51.5cmの高さを越えると圧砕損傷が著しくなり、衝撃力が損傷によって吸収される結果となり最大加速度は下降傾向を示した。しかし丸鋼であっても直径が30mmの場合については圧砕損傷が減少するので、最大加速度の下降現象は見られず鉄板の衝撃に近い傾向を示した。

2) 被覆材の緩衝効果

被覆材にゴム或はビニルを使用した場合の最大加速度による緩衝効果は、被覆材を用いた時と丸鋼のみの時の最大加速度の比(C)で表される。ゴム被覆の場合にはゴムが厚くなるに従ってCの値は大きくなり緩衝効果が示される。又このCの値は同じ被覆厚さの場合には落下位置が高くなると小さくなり緩衝効果は減少するので、落下位置が高くなる際には被覆材の厚さを増す必要がある。

ビニル被覆についてはビニル厚さの違いによる緩衝効果への影響は少ないが、これはビニルの圧縮性に乏しい物理性に原因している。

接触時間の最大圧縮時間に対する非対称による偏りから接触時間と最大圧縮時間との比(ρ)によって変形量を推定することができる。この ρ はゴム被覆の場合では2.1～4.5であるが、ビニルの場合では2.0～2.2を示し、ビニルは最大変形深さが少ないために t_c 点(接触時間)が t_m (最大圧

縮時間)に対してほぼ対称に現れる。一方ゴムの場合には変形量が大きいために t 点が遅れて現れ、復元時間に多く要しており、従ってそれだけ緩衝効果が大きいことになる。

被覆材と衝突後の振子の反撥高さから緩衝効果を明らかにするためには被覆材を用いた時の反撥高さと丸鋼のみの時の反撥高さの比(C_n)で表される。ゴム被覆の場合はバネ作用により $C_n > 1$ であり、ビニルは塑性であるから大抵の場合 $C_n < 1$ である。ゴムの場合は厚さが増すと C_n の値は大きくなり緩衝効果は増大する。ビニルの場合はゴムとは逆に厚さが増すと C_n の値は減少し3 mm厚さのビニルが最も高い効果を示した。しかしビニルはゴムのように厚さの違いによる緩衝効果への影響は少ない。

3) 被覆材の種類とバレイシヨの損傷

被覆材を用いた時の塊茎損傷防止に対する効果は、被覆材を用いた時と丸鋼のみの時の損傷発生深さの比(δ_d)で表される。

3 mm厚さのゴムの δ_d は50 cmの高さで0.08と他の被覆材より小さい値をとり、最も高い緩衝効果を示した。一方ビニル被覆の場合は1 mm厚さの時100 cmの高さで δ_d は0.91を示し、その効果は大きくない。しかし3 mm厚さのビニルの δ_d は

100 cmの高さで δ_d が0.77を示して2 mm厚さのゴムに相当するが、50 cm以下では圧縮性に欠けるため緩衝効果は減少する。

損傷の断面積についても損傷深さと同様な考え方から断面積の比(δ_A)をとると、この δ_A は落下高さに関して直線的な関係を示した。損傷深さ比と断面積比(δ_A)を比較すると $\delta_A < \delta_d$ であり、発生深さが大きい損傷は損傷幅も大きいことを示し、断面積比による緩衝効果は拡大されて現れるので δ_d を用いる方が安全であると考えられる。

7. 被覆材のバレイシヨ収穫機に対する適用

ドラム式土砂分離機構を有するバレイシヨ収穫機を供して損傷防止のための対策を施した。塊茎がドラムワイヤ(7 mm直径)に衝突すると著しい圧碎損傷を生じることが明らかになり、1.5 mm厚さのビニルを被覆した結果、前年の8月12日の23%の外傷に対して7月13~14日の早期収穫でも外傷は20%以下に止まった。しかしビニル被覆では十分な緩衝効果が期待出来ないので、3 mm厚さのゴムを被覆し、更に塊茎がドラムワイヤの上に落下しないようにゴム板を取付けた結果、外傷は5%以下に減少しその効果が認められた。

参 考 文 献

- 1) Bittner, D. R., Manbeck, H. B. and Mohsenin, N. N. A method of evaluating cushioning materials used in mechanical harvesting and handling of fruits and vegetables. *Trans. ASAE* 10, 711-714. 1967.
- 2) Cargill, B. F., and Rossmiller, G. E. Fruit and vegetable harvest mechanization technological implications. Rural Manpower Center, Michigan, 1969.
- 3) 中馬 豊・村田 敏・紀伊富夫. りんごの衝撃加速度の測定と解析. *農機誌*. 32, 47-52. 1970.
- 4) 中馬 豊・村田 敏・宮里 満・西原明彦. バネ式果実硬度計による果実及び野菜の弾性率測定法. *農機誌*. 31, 260-262. 1969.
- 5) Finney, E. E. and Massie, D. R. Instrumentation for testing the response of fruits to mechanical impact. *Trans. ASAE* 18, 1184-1187. 1975.
- 6) Finney, E. E. Dynamic elastic properties of some fruits during growth and development. *J. agric. Engng Res.* 12, 249-256. 1967.
- 7) Fluck, R. C. and Ahmed, E. M. Impact testing of fruits and vegetables. *Trans. ASAE*. 16, 660-666. 1973.
- 8) Fluck, R. C., Wright, F. S. and Splitter, W. E. Compression plunger, skinning and friction properties of sweet potatoes. *Trans. ASAE*. 11, 167-170, 174. 1968.
- 9) Fridley, R. B., Bradley, R. A., Rumsey, J. W. and Adrian, P. A. Some aspects of elastic behavior of selected fruits. *Trans. ASAE*. 11, 46-49. 1968.
- 10) Goldsmith, W. Impact, The theory and physical behavior of colliding bodies. Edward Arnold Publishers, London, 1960.
- 11) Green, H. C. Potato damage. *J. agric. Engng Res.* 1, 56-62. 1956.
- 12) Hammerle, J. R. and Mohsenin, N. N. Some dynamic aspects of fruit impacting hard and soft materials. *Trans. ASAE*. 9, 484-488. 1966.
- 13) Hammerle, J. R. A technique for evaluating fruit and vegetable abrasion resistance. *Trans. ASAE*. 13, 672-675. 1970.
- 14) Howe, S. D. Market for harvesters. *Power Farming* 49, 10-11. 1972.
- 15) 石橋貞人・小島孝之. 農産食品の力学的性質に関する研究(第1報)―若干の農産物の外力変形曲線について―. *農機誌* 30, 231-236. 1969.
- 16) Jindal, V. K. and Mohsenin, N. N. Analysis of a simple pendulum impacting device for determining dynamic strength of selected food materials. *Trans. ASAE* 19, 766-770. 1976.
- 17) Kunze, O. R., Aldred, W. H. and Reeder, B. D. Bruising characteristics of peaches related to mechanical harvesting. *Trans. ASAE* 18, 939-945. 1975.
- 18) Mohsenin, N. N. and Gohlich, H. Techniques for determination of mechanical properties of fruits and vegetables as related to design development of harvesting and processing machinery. *J. agric. Engng. Res.* 7, 300-315. 1962.
- 19) Nelson, C. W. and Mohsenin, N. N. Maximum allowable static and dynamic loads and effect of temperature for mechanical injury in apples. *J. agric. Engng Res.* 13, 305-317. 1968.
- 20) Parke, D. The resistance of potatoes to mechanical damage caused by impact loading. *J. agric. Engng Res.* 8, 173-177. 1963.
- 21) Phillipson, A. and Lawrence, D. C. Comparison of potato damage assessments made at different time interval after harvesting. *J. agric. Engng Res.* 8, 31-34. 1963.
- 22) Potato harvesters' performance. *Farm Mechanization*, 394-397. 1962.
- 23) Rider, R. C., Fridley, R. B. and O'Brien, M. Elastic behavior of pseudo-fruit for determining bruise damage to fruit during mechanized handling. *Trans. ASAE* 16, 241-244. 1973.
- 24) 田口啓作・馬鈴薯の栽培. 作物大系. 養賢堂. 1963.
- 25) 島田実幸. 落下衝撃によるばれいしょ損傷試験. 北海道立農試集報 35, 70-78. 1976.
- 26) Timoshenko and Goodier *Theory of elasticity*. McGraw-Hill Book company, 409-422. 1970.

RESEARCH ON DAMAGE OF POTATOES AND ONIONS

by

Miyuki SHIMADA

1. THE ACTUAL CONDITION OF DAMAGE ORIGINATING FROM THE HARVESTERS

The actual condition of damage concerning onion and potato harvesters was examined. Two kinds of typical, popular onion harvesters now on the market were taken up. One of them is the combine type of harvester that directly harvests, and the other type is the picker type that does field curing as a preliminary. As the revolution speed of the topping roll of the combine type of harvester is comparatively low, 187 rpm, the damage caused was small, that is, bruising was from 0.4 to 1.8 %, severe damage was from 1.5 to 2.2 %, and scuffing was from 0.6 to 3.5 %. When onions were thrown into the container, damage was caused by the impact of dropping. When the container was vacant, 1.8 % of bruising was caused. In the case of catching onions with a canvas, impact was avoided and bruising was small, 0.4 %. In the case of the picker type since the revolution speed of the picking roll is high, much bruising was caused, but severe damage was kept at the same level as the combine type of harvester. Also in the case of the picker type, when onions were thrown into the vacant container, 3.3 % of much bruising was caused. The higher the rotation speed of the topping roll was, the greater was the damage. When the topping roll speed was 200 rpm, bruising and severe damage were 1.1 % and 0.7 % respectively. But when the rotation speed was raised to 310 rpm, both bruising and severe damage increased to 3.3 % and 2.9 % respectively.

The actual condition of damage caused by the domestic produced potato harvesters and the imported potato harvesters was examined. In the case of each harvester, the mean value of severe and slight damage was respectively within the range of 0.5 % to 3.4 % and 0.3 % to 13.3 %. Much scuffing occurred according to the type of harvester, and severe scuffing was from 0.2 % to 20.7 % and slight scuffing was from 2.3 % to 32.0 %. Moreover, when looking at the maximum value of the rate of damage in each type of potato harvester, severe damage was from 1.0 % to 5.2 %, slight damage was from 0.6 % to 13.9 %, and a great difference appeared between the kinds of potato harvester. However, as a matter of fact, it is not necessary to divide damage into categories of severe and slight damage, and when severe and slight damage were summed up, there was one harvester with a rate of over 10 %, five harvesters with a rate of from 7 % to 10 %, seven harvesters with a rate of from 5 % to 7 %, and the ratio of potato harvesters with damage of over 5 % occupied 62 % in all.

2. THE MECHANISM OF THE GENERATING OF DAMAGE CAUSED BY THE IMPACT OF DROPPING OF ONIONS

1) Maximum acceleration and impact force absorption at time of impact

When onions and wooden balls drop and collide with the steel plate, the maximum acceleration at time of impact is decreased because deformation of the onion is caused. On the other hand, when the dropping of wooden balls occurs from a height of less than 20 cm, since the wooden ball can be considered as an elastic body, the deformation of the wooden ball can be ignored when compared with the deformation of the onion. Accordingly the impact force absorption of the onion can be given by the onion and the wooden ball's respective maximum acceleration ratio C_0 when impacting with the steel plate. The value of this ratio C_0 is respectively 0.417 for LL size, 0.458 for L size, and 0.488 for M size when the height of dropping is 20 cm, that is, the larger the size of the onion is, the larger is the impact force absorption. Furthermore, the impact force absorption caused by the rubber covering on a rubber covered steel plate can be given by the maximum acceleration ratio C_R respectively at the time of the wooden ball's impacting on the rubber-covered steel plate and on a steel plate without a rubber-covering.

In the case of wooden balls of the same size, the higher the dropping height is, the greater is the amount of absorption that is decreased. Furthermore, absorption is based on difference in size, and when the height of dropping is low, LL size ball's absorption is large. But when the height of dropping gets higher, the scope of elasticity of rubber is exceeded, and since the steel plate's influence is received, the smaller the wooden ball is, the greater is the amount of absorption of impact force.

2) Relationship between maximum deformation and damage at time of impact

Onions are deformed when they receive impact, but the depth of damage caused and the maximum deformation are not always the same. However, as damage is caused by increase of deformation, damage can be estimated from the maximum deformation. When the height of dropping exceeds 20 cm in the case of onion, Herz's theory of impact is not applicable because the damage is conspicuous. A deformation of the extent of 2 mm expresses the limit of onion damage generation, and deformation less than 2 mm does not result in the causing of damage. When impact is the result of the mutual impacting of onions, if the height of dropping is less than 20 cm, no damage results regardless of size, but when the height of dropping reaches 40 cm, damage results, and when the height of dropping is 60 cm, the depth of damage is 8 mm. However, damage caused by the mutual impact of onions is conspicuously small when compared with the impact of a wood plate or a steel plate. In regard to the impact of onions and round steel bars, Herz's theory is applicable by the following equation, the round steel bar can be revised to the sphere's radius R'_1

$$R'_1 = \frac{2}{\pi} \sqrt{R_1 R_2}$$

R_1 Radius of curvature of onion

R_2 Radius of round bar

When the round bar is the object of the impact, the bigger the onion is, the greater is its maximum deformation. The maximum deformation that indicates the limit of safety where onions do

not develop damage is from 1.55 mm to 1.95 mm, and the deformation under 2 mm indicates that the limit value with wood plates and onions applied to round steel bars. Furthermore, when the duration of impact is long, the occurrence of damage becomes great, but the height of dropping is less than 20 cm, it became clear that the Herz's theory was applicable. According to differences in size of onions, the extent of the increase of the duration of impact is indicated by the ratio t_p of the respective duration impact of the collision of onions and wooden balls with a steel plate. The t_p value of LL size onion is from 2.062 to 2.830, for L size it is 2.354 to 2.482, and since onions of LL size get a large value, a high danger of the occurrence of damage is indicated.

At the time of the mutual collision of onions, the maximum contact stress gets greater, the smaller the onions are, and it is difficult for damage to occur. The limits of the occurrence of damage indicated by the maximum contact stress are respectively 17.59 kg/cm², 17.72 kg/cm², 17.75 kg/cm² in the LL, L, and M size and the smaller the onions are, the higher is the maximum contact stress.

3. THE MECHANISM OF DAMAGE BY THE IMPACT OF DROPPING OF POTATOES

The maximum deformation indicating the limit of safety toward damage in the case of the impact of the steel plate and potato tubers is 2.19 mm, 2.23 mm and 2.26 mm for L, M and S tubers respectively; at the time, the height of dropping was 30 cm, 50 cm and 70 cm respectively, and it was indicated that the smaller the potato tubers were, the more difficult was it for damage to occur. In regard to the mutual impact of potato tubers, in the case of same size, when the height of dropping was 100 cm, damage occurred in L size tubers, but there was no damage to the other tubers. At the time, the maximum deformation was 2.68 mm, 2.23 mm and 1.97 mm for L, M and S size respectively, and L size tubers only exceeded the damage causing limit of 2.19 mm to 2.26 mm. In regard to the impact of potato tubers of different sizes, when potato tubers that were dropped were L size, and the tubers that received impact were S size, S size tubers had conspicuous damage. When L size tubers collided with S size tubers, since the area of contact became small, the maximum contact stress was the largest value, and the maximum deformation of S size increased, therefore the limit of permissible deformation was exceeded.

In regard to the impact of potato tubers with a round steel bar, the maximum deformation of the limit of damage causing was from 1.79 mm to 1.92 mm with diameter of 7 mm, and damage occurred with small deformation. With a round bar of 10 mm diameter, it was from 1.87 mm to 2.01 mm, and had a value similar to the 7 mm diameter. But the maximum deformation of a round steel bar with a diameter of 15 mm indicated from 2.05 mm to 2.40 mm, when the diameter gets larger, the damage is alleviated. Furthermore, in the case of the damage including a crack, the height for causing crushing for M and S size tubers in impacting with a steel bar of 7 mm diameter was 25 cm, and it was 20 cm for L size tubers, thus decreasing. But when the diameter of a round steel bar was more than 25 mm, differences based on the size of tubers became small. Bruising has the same tendency as in the case of crushing damage, but the dropping height where the da-

mage occurs becomes yet lower, and measures for the prevention of damage create more difficulty.

4. POTATO DAMAGE ACCORDING TO DIFFERENT HARVEST PERIODS

Tubers harvested at the early period of July 20 were easily prone to damage when compared with later periods. If the dropping position got higher, when there was either softening of the periderm or change of color, or cracking occurs. There were many times when there is change of color in the periderm in the early period tubers, on the other hand, there was much cracking of potato tubers in later periods.

In impact with round steel bars, in the early period at July 20, crushing and cracking occur from low dropping position. When this was compared with the periods after July 27, damage easily occurred. The limit of safety deformation was 2.11 mm, 2.39 mm and 2.56 mm at July 20, July 27 and August 3 respectively, that was, the earlier the period was, the less was the deformation at which damage occurred. Furthermore, when there was impact with round steel bar having a diameter of 7 mm, the limit of safety maximum deformation was less than 1.8 mm.

When there was impact with a round steel bar of 10 mm in diameter, it was from 2.0 mm to 2.4 mm, and in impact with a round steel bar having a diameter of 7 mm, damage easily occurred. In impact with a steel plate, the safety limit of maximum contact stress at July 20, July 27 and August 3 were respectively 21.50 kg/cm², 30.01 kg/cm², 32.23 kg/cm², and as time passed, stress increases, and the occurrence of damage became less.

5. PREVENTION OF THE OCCURRENCE OF DAMAGE BY USE OF CUSHIONING MATERIAL

1) Relation between maximum acceleration and damage with use of the pendulum impact apparatus

At the occasion of the impact of a steel plate and potato tubers, crushing damage does not occur, and maximum acceleration indicates the largest value because the repelling action is great. When the height of dropping is 100 cm cracking occurs, but in this case, since the impact force absorption is small, the maximum acceleration reaches 638 G.

In impact with round steel bars the smaller their diameters are and the higher the height of dropping is, the more the maximum acceleration is lowered because damage to potato tubers becomes conspicuous. In the impact of tubers and round steel bars with diameter of 7 mm and 10 mm, when the drop height exceeded 51.5 cm, the maximum acceleration indicated a descending tendency because conspicuous crushing damage appeared. However, since crushing damage decreased when round steel bars are 30 mm in diameter, the maximum acceleration descent phenomenon was not shown, and a tendency was indicated approximating the impact with a steel plate.

2) Buffer efficacy of cushioning materials

Buffer efficacy that depends on maximum acceleration, whether either rubber or vinyl are used as the cushioning material, is given by the maximum acceleration ratio C at time of impact

with the use of a cushioning material and only with a round steel bar. When rubber is used as the cushioning material, the thicker the rubber becomes, the larger the value of C becomes. That is to say, with a rubber thickness of 1 mm, C value is 0.697, and the value of C becomes 0.340 when the rubber thickness is 3 mm; nearly two times as much impact force absorption is recognized. Also, when the value of C , in the same cushioning thickness, becomes smaller as the height of dropping gets higher, as buffer efficacy declines, together with the heightening of the dropping position, it becomes necessary to increase the thickness of the cushioning material. In regard to vinyl cushioning, the influence on buffer efficacy on differences in thickness is small; this is due to vinyl being poor in compressibility.

Since there is a tendency toward asymmetry with the duration of maximum compression of the duration of impact, the deformation can be inferred according to the ratio ρ between the duration of impact t and the duration of maximum compression t_m . The value of the ratio ρ is 2.1 to 4.5 when a rubber cushioning is used, but indicated from 2.0 to 2.2 when vinyl is used for cushioning; because the maximum deformation is small with vinyl, point t appears near symmetry to point t_m . On the other hand, from the cause of the maximum deformation being great, with rubber point t appears late, with much restoration time being necessary, and accordingly, the buffering efficacy becomes great. The buffer efficacy, which is from the rebound height of the impactor after collision with the cushioning material, is indicated by the ratio C_h of the rebound height when using cushioning material to the rebound height and when using only the round steel bar. In the case of rubber cushioning, due to a spring action, ratio is $C_h > 1$, and since vinyl is a plastic, ratio is $C_h < 1$ in most case. In the case of either rubber or vinyl, when the thickness increases, buffer efficacy becomes larger, but vinyl has small influence on buffer efficacy due to differences in thickness.

3) Relationship between cushioning material and occurrence of damage

The efficacy toward damage when using cushioning material is given by the ratio δ_d of the occurrence of damage depth when using a cushioning material and when using only a round steel bar. When the thickness of the rubber is 3 mm, the ratio δ_d is 0.08 of a smaller value than the other cushioning materials at the height of 50 cm, and the highest buffer efficacy is indicated. On the other hand, in the case of a vinyl covering, when the thickness is 1 mm and the height is 100 cm, the δ_d ratio indicates 0.91, and not much can be hoped for regarding the efficacy of vinyl. However, the δ_d ratio of 3 mm thickness of vinyl indicates 0.77 when the height is 100 cm, it is equivalent to a rubber thickness of 2 mm. But when its height is less than 50 cm, its buffer efficacy decreases because of its lack of compressibility.

6. APPLICATION OF CUSHIONING MATERIAL FOR POTATO HARVESTER

Some means of preventing damage were tried for the potato harvester having a drum type of soil separation. When potato tubers collided with the drum wires (7 mm diameter), it was clear that there was conspicuous crushing damage. As a result of a covering with vinyl of a thickness of 1.5 mm, the early potato harvesting on July 13 and 14 kept damage under 20% in comparison with the severe damage of 23% at August 12 of last year. However, since sufficient buffer efficacy can

not be expected with a vinyl covering, rubber of 3mm in thickness was covered, furthermore, rubber plate was furnished so that potato tubers would not fall on the drum wires, and as a result, severe damage decreased to under 5 %, and its efficacy was recognized.