

BADANIE ZMIENNOŚCI WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH KORZENI MARCHWI
W ZALEŻNOŚCI OD CECH ODMIANOWYCH, CZYNNIKÓW AGROTECHNICZNYCH
I OKRESU PRZECHOWYWANIA

Bogusław Szot

Zakład Agrofizyki PAN w Lublinie

Tadeusz Kęsik

Instytut Produkcji Ogrodniczej AR w Lublinie

Krzysztof Gołacki

Instytut Podstaw Techniki AR w Lublinie

Marchew stanowi bogate źródło prowitaminy A oraz wielu fizjologicznie czynnych substancji niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmu człowieka [5]. Jeśli dodać do tego możliwość jej kilkumiesięcznego przechowywania w stanie „świeżym”, należy zaliczyć ją do najważniejszych roślin warzywnych.

Poznanie zmienności właściwości mechanicznych korzenia marchwi ma bardzo istotne znaczenie w związku z rozwojem mechanizacji procesów zbioru, przechowalnictwa, przetwórstwa, a także z transportem. Właściwości mechaniczne warzyw stanowią również bardzo istotny wskaźnik ich jakości zarówno bezpośrednio po zbiorze, jak i po okresie wielomiesięcznego przechowywania.

Badania właściwości mechanicznych korzenia marchwi rozpoczęto stosunkowo niedawno. Stanowiły one głównie uzupełnienie badań biochemicznych związanych z oceną poszczególnych odmian lub trwałością przechowalniczą korzeni [3, 13]. Kilku autorów zajęło się specyficznymi zagadnieniami badając relacje między własnościami kompresyjnymi a zawartością wilgoci i składem chemicznym marchwi [12, 14], zależność między wynikami ścinania i ściskania a oceną czuciową [7], a także penetrometrycznymi pomiarami budowy marchwi w porównaniu z innymi artykułami [4]. Opracowanie modelu fizycznego korzenia marchwi, pożądane z punktu widzenia różnorodnych form oddziaływania

człowieka na roślinę natrafia na znaczne trudności. Spowodowane jest to specyficznym i różnym osobniczo kształtem oraz niejednorodną budową anatomiczną korzenia.

Określenie pełnego zakresu zmienności podstawowych parametrów mechanicznych jest pierwszym etapem do opracowania takiego modelu.

MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Materiał do badań laboratoryjnych pobrano z doświadczenia polowego, przeprowadzonego na glebie wytworzonej z gliny średniej pylastej, założonego według metody split-plots w 4 powtórzeniach.

Uwzględniono następujące obiekty:

- 3 odmiany marchwi - Perfekcja, Nantejska, Flacor,
- 2 poziomy nawożenia mineralnego: 240 i 480 kg NPK/ha,
- 3 warianty uprawowe:
 - A - przygotowanie roli do siewu według zaleceń agrotechnicznych (bez zagęszczania),
 - B - zagęszczenie gleby przejazdami ciągnika - przed siewem,
 - C - zagęszczenie gleby w międzyrzędziach - 5 przejazdów ciągnika w okresie wegetacji (do zwarcia międzyrzędzi).

Zadaniem przejazdów ciągnika było zagęszczenie gleby, jakie występuje podczas wykonywania zabiegów związanych z ochroną roślin. Zmiany fizycznych właściwości gleby spowodowane przejazdami ciągnika utrzymywały się aż do momentu zbioru roślin.

W roku prowadzenia badań (1982) przez cały okres wegetacyjny trwała susza. We wszystkich miesiącach sumy opadów były znacznie niższe od średnich wieloletnich. Dotkliwy brak opadów odczuły rośliny szczególnie w lipcu, kiedy to spadło tylko 21,7 mm, podczas gdy średnia wieloletnia dla tego miesiąca wynosiła 81,8 mm. Jednocześnie wyższe temperatury spowodowały wędnięcie roślin i podsychanie dolnych liści. Małe uwilgotnienie gleby w dużym stopniu ograniczało plonowanie roślin.

Zbiór marchwi przeprowadzono 20 X i wykonano szczegółową ocenę struktury plonu. Do badań przyjęto korzenie zdrowe i niezdeformowane które charakteryzowały się średnią długością 158 mm oraz przeciętną wartością średnią:

	korzenia	walca osiowego (rdzenia)
w części od strony główki	34,2 mm	16,4 mm
w części środkowej	29,7 mm	10,8 mm
w części od strony nasady	24,0 mm	6,0 mm

Średnia zawartość suchej masy w korzeniach, niezależnie od badanych czynników agrotechnicznych, wynosiła 13,81%.

Bezpośrednio po zbiorze przeprowadzono pierwszą serię badań właściwości mechanicznych korzeni. Pozostałe próbki o masie 1900 ÷ 2000 g umieszczono w chłodni przy stałej temperaturze +3°C w woreczkach siatkowych oraz perforowanych woreczkach polietylenowych. Kolejne serie badań wykonywano w 1-miesięcznych odstępach pobierając z chłodni próbki korzeni z każdej kombinacji i określając w pierwszej kolejności ubytek masy. Wszystkie badania właściwości mechanicznych przeprowadzono za pomocą aparatury wytrzymałościowej Instron model 1253 przy zastosowaniu skonstruowanego oprzyrządowania. Do pomiarów pobierano wycinki z części środkowej korzenia na długości około 2/3 długości całkowitej. Wykonano następujące próby:

1. Zginanie całych korzeni umieszczanych na dwóch podporach odległych o 70 mm. Wszystkie elementy oprzyrządowania bezpośrednio kontaktujące się z korzeniem były zakończone zaokrągleniem o promieniu 15 mm. Korzenie bez uszkodzeń i nacięć poddawane były ugięciu z prędkością 100 mm/min. Rejestrowano wykres charakterystyki siła - strzałka ugięcia do momentu pęknięcia korzenia.

2. Ścinanie korzeni umieszczanych w „gilotynie” składającej się z dwóch odległych o 3 mm podpór posiadających współosiowe otwory o średnicy 35 mm. Nóż o grubości ostrza 1 mm, jednostronnie zaostroszony pod kątem 30° poruszał się między podporami w kierunku pionowym z prędkością 100 mm/min. Rejestrowano wykres charakterystyki siła - przesunięcie ostrza do całkowitego przecięcia.

3. Ściskanie wycinków całych przekrojów oraz kory i rdzenia między dwoma równoległymi płytkami wzdłuż i w poprzek osi korzenia.

Zastosowano następujące wymiary wycinków:

całe przekroje $l=20$ mm, ϕ 25 mm ÷ ϕ 30 mm

kora 20 mm x 6 mm x 6 mm

rdzeń $l=20$ mm, ϕ 10 mm ÷ 13 mm.

Prędkość ściskania 20 mm/min. Rejestrowano wykres charakterystyki siła = odkształcenie, aż do zniszczenia próbki.

4. Rozciąganie próbek kory i rdzenia o przekroju kwadratowym 5,5 mm x 5,5 mm, przy zachowaniu stosunku między grubością a długością części przewężonej próbki 1:5. Umocowywano je w specjalnych szczękach i rozciągano z prędkością 100 mm/min, aż do zerwania. Rejestrowano wykres charakterystyki siła - odkształcenie.

5. Badanie penetrometrem na wycinkach całych korzeni. Badano twardość kory i rdzenia zagłębiając penetrometr o średnicy 2 mm z prędkością 20 mm/min, aż do załamania badanego materiału. Rejestrowano wykres zależności siła - zagłębienie penetrometru.

Przy wszystkich pomiarach stosowano zasadę 10 powtórzeń. Badania wykonywano w 1-miesięcznych odstępach od października 1982 r. do marca 1983 r., z wyjątkiem ściskania wycinków kory i rdzenia, które przeprowadzono do maja 1983 r., a także badania próbek umieszczonych w woreczkach z siatki, które badano tylko raz po 40-dniowym przechowywaniu.

WYNIKI

Średnie straty masy próbek korzeni umieszczonych w woreczkach foliowych wszystkich badanych kombinacji po kolejnych miesiącach przechowywania wynosiły odpowiednio: 1,1%, 2,0%, 2,6%, 3,4%, 4,7%, 6,6%. Średnia strata masy próbek przechowywanych w woreczkach z siatki po 40 dniach przechowywania wynosiła 14,1%.

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów ściskania stwierdzono nieznaczne zmniejszenie się wartości modułów sprężystości kory i rdzenia w czasie przechowywania (tab. 1, 2). Współczynnik ten obliczono ze stycznej do prostoliniowego odcinka charakterystyki, obejmującego zakres od 20% do 40% wartości naprężenia niszczącego próbkę. Wartości modułów E kory i rdzenia są zbliżone, jednakże w ostatnich miesiącach przechowywania stwierdzono większą wartość współczynnika sprężystości rdzenia dla wszystkich badanych kombinacji.

Wartości naprężeń niszczących próbkę w większości badanych kombinacji maleją w pierwszych miesiącach przechowywania po czym rosną,

osiągając po sześciu miesiącach wartości większe niż bezpośrednio po zbiorze.

W trakcie badań nie stwierdzono różnic międzyodmianowych. Pewne różnice wartości naprężeń niszczących w zależności od kombinacji agrotechnicznych zauważono w czasie próby ściskania wycinków kory w poprzek osi korzenia. Mogą one sugerować największą wytrzymałość na ściskanie marchwi pochodzącej z uprawy typowej, niezależnie od poziomu nawożenia (tab. 3).

Wykresy zależności odkształcenia względnego od naprężenia działającego na próbę przedstawia rysunek 1. Największe zmiany przebiegu charakterystyki obserwuje się na jej odcinku początkowym. Moduły sprężystości obliczone ze stycznej do krzywej w punkcie początkowym zestawiono w tabeli 4. W tym przypadku zauważono ścisłą zależność między okresem przechowywania a wartością tego wskaźnika, który najlepiej charakteryzuje świeżość korzeni.

Próbki przechowywane w woreczkach z siatki narażone były na szybką utratę wilgoci oraz nasilenie procesu oddychania. Wartości charakterystyczne dla tych próbek różnią się znacznie od pozostałych. Nastąpiło tu zwiększenie wytrzymałości struktury, jednakże ze względu na dużą utratę wilgoci marchew ta ma niewielką wartość handlową.

Moduły sprężystości kory i rdzenia przy rozciąganiu różnią się znacznie i bezpośrednio po zbiorze wynoszą odpowiednio 12,27 MPa i 7,28 MPa (średnia dla wszystkich odmian). W okresie 5-miesięcznego przechowywania moduły maleją zachowując początkowe różnice między korą a rdzeniem (tab. 5).

Podobnie jak w próbie ściskania zmieniają się wartości naprężeń krytycznych. Pominąwszy termin „bezpośrednio po zbiorze” zauważono początkowy spadek, a następnie wzrost lub co najmniej zahamowanie spadku wartości tych naprężeń. Analogicznie jak w przypadku modułów sprężystości, wartości naprężeń krytycznych kory w stosunku do rdzenia są wyższe przez cały okres przechowywania. Wykresy zależności (σ - ϵ) dla próby rozciągania przedstawiono na rysunku 2, zaś zmienność parametrów E_z i F_m w czasie kolejnych prób zginania zestawiono w tabeli 6. Ze względu na trudności obliczenia modułu sprężystości korzenia z uwzględnieniem jego wielowarstwowej budowy wyznaczono zastępcze moduły sprężystości E_z dla korzenia traktowa-

Średnie wartości modułu
naprężeń niszczących wycin-
ściskanych wzdłuż osi korze-

Odmiana (sposób przecho- wywania)	Para- metr	bezpośrednio po zbiorze	Termin		
			grudzień	styczeń	
Perfe- kcja (folia)	Aa	E	$\frac{8,73}{8,28}$	$\frac{7,39}{7,53}$	$\frac{8,19}{9,52}$
		σ	$\frac{2,31}{2,16}$	$\frac{2,30}{2,32}$	$\frac{2,18}{2,50}$
	Ab	E	$\frac{8,99}{7,62}$	$\frac{7,42}{8,83}$	$\frac{7,04}{8,43}$
		σ	$\frac{2,37}{2,24}$	$\frac{2,40}{2,70}$	$\frac{2,34}{2,24}$
	Ac	E	$\frac{8,47}{8,18}$	$\frac{7,87}{8,77}$	$\frac{7,40}{9,63}$
		σ	$\frac{2,38}{2,23}$	$\frac{2,47}{2,67}$	$\frac{2,57}{2,64}$
	Ba	E	$\frac{8,03}{7,36}$	$\frac{8,22}{7,88}$	$\frac{7,48}{8,62}$
		σ	$\frac{2,29}{1,74}$	$\frac{2,39}{2,36}$	$\frac{2,61}{2,46}$
	Bb	E	$\frac{7,24}{9,60}$	$\frac{7,88}{7,87}$	$\frac{7,09}{8,57}$
		σ	$\frac{2,36}{2,06}$	$\frac{2,83}{2,39}$	$\frac{2,14}{2,39}$
	Bc	E	$\frac{8,22}{7,96}$	$\frac{6,85}{8,50}$	$\frac{7,29}{7,97}$
		σ	$\frac{2,38}{2,08}$	$\frac{2,36}{2,43}$	$\frac{2,02}{2,60}$
	Flacor (folia)	E	$\frac{8,05}{6,73}$	$\frac{7,67}{7,73}$	$\frac{6,64}{7,83}$
		σ	$\frac{1,96}{1,65}$	$\frac{1,96}{2,07}$	$\frac{2,06}{2,18}$
	Nantejska (folia)	E	$\frac{6,81}{2,11}$	$\frac{5,85}{8,04}$	$\frac{6,91}{8,14}$
		σ	$\frac{2,05}{2,30}$	$\frac{2,01}{2,48}$	$\frac{2,85}{2,25}$
	Perfekcja (siatka)	E		$\frac{14,51}{15,31}$	
		σ		$\frac{3,38}{3,09}$	

E - moduł sprężystości (MPa), σ - maksymalne naprężenie niszczą-
wnik dotyczy walca osiowego (rdzenia), A - nawożenie normalne,
gleby w międzyrzędziach, c - ugniatanie przedsiewne.

T a b e l a 1

sprężystości oraz maksymalnych
kół kory i rdzenia marchwi
nia w czasie przechowywania

badań				
	lutym	marzec	kwiecień	maj
	$\frac{8,24}{8,29}$	$\frac{8,08}{9,01}$	$\frac{8,12}{8,55}$	$\frac{7,68}{8,14}$
	$\frac{2,26}{2,51}$	$\frac{2,30}{2,74}$	$\frac{2,30}{2,55}$	$\frac{2,36}{2,55}$
	$\frac{6,45}{8,54}$	$\frac{6,36}{8,13}$	$\frac{7,20}{7,81}$	$\frac{7,78}{7,71}$
	$\frac{2,48}{2,50}$	$\frac{2,49}{2,53}$	$\frac{2,55}{2,53}$	$\frac{2,74}{2,80}$
	$\frac{5,91}{8,47}$	$\frac{6,92}{7,98}$	$\frac{7,10}{8,05}$	$\frac{6,91}{8,33}$
	$\frac{2,41}{2,47}$	$\frac{2,48}{2,45}$	$\frac{2,51}{2,56}$	$\frac{2,52}{2,58}$
	$\frac{7,50}{8,14}$	$\frac{7,37}{7,89}$	$\frac{7,10}{7,79}$	$\frac{6,07}{7,90}$
	$\frac{2,37}{2,36}$	$\frac{2,18}{2,23}$	$\frac{2,26}{2,32}$	$\frac{2,29}{2,43}$
	$\frac{7,06}{9,79}$	$\frac{7,65}{8,61}$	$\frac{6,21}{7,58}$	$\frac{7,23}{8,90}$
	$\frac{1,86}{2,47}$	$\frac{2,06}{2,25}$	$\frac{2,17}{2,27}$	$\frac{2,17}{2,39}$
	$\frac{6,90}{7,99}$	$\frac{5,95}{8,33}$	$\frac{6,10}{8,23}$	$\frac{6,74}{8,38}$
	$\frac{2,10}{2,40}$	$\frac{2,44}{2,40}$	$\frac{2,44}{2,48}$	$\frac{2,44}{2,50}$
	$\frac{6,18}{4,60}$	$\frac{5,73}{6,94}$	$\frac{6,43}{7,31}$	$\frac{5,78}{7,71}$
	$\frac{2,00}{2,22}$	$\frac{1,98}{2,24}$	$\frac{2,01}{2,28}$	$\frac{2,23}{2,52}$
	$\frac{7,35}{8,14}$	$\frac{7,25}{8,18}$	$\frac{6,48}{7,02}$	$\frac{6,36}{6,87}$
	$\frac{2,17}{2,31}$	$\frac{2,27}{2,34}$	$\frac{2,28}{2,35}$	$\frac{2,29}{2,38}$

ce próbkę (MPa), licznik dotyczy części zewnętrznej (kory), miano-
B - podwójna dawka nawożenia, a - uprawa tradycyjna, b - ugniatanie

T a b e l a 2

Średnie wartości modułu sprężystości oraz maksymalnych naprężeń niszczących wycinków kory ściskanych w poprzek osi korzenia w czasie przechowywania

Odmiana (sposób przecho- wywania)	Para- metr	Termin badania				
		bezpośrednio po zbiorze	grudzień	styczeń	lutym	marzec
Perfekcja (folia)	E	8,66	9,33	8,13	8,71	9,17
	σ	3,61	3,33	3,01	3,13	3,10
Flacor (folia)	E	8,71	7,88	7,55	7,72	6,78
	σ	2,94	2,55	2,28	2,34	2,83
Nantejska (folia)	E	7,92	6,89	6,77	7,89	7,58
	σ	3,21	2,94	3,06	2,17	2,34
Perfekcja (siatka)	E	12,04				
	σ	3,29				

E - moduł sprężystości (MPa).

σ - maksymalne naprężenie niszczące próbkę (MPa).

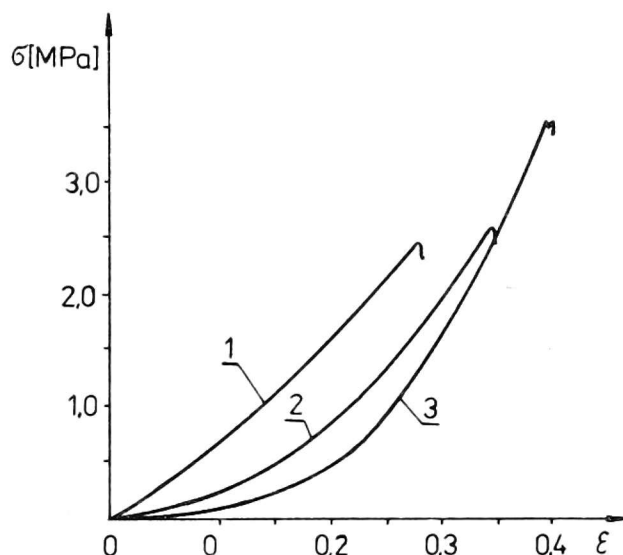
T a b e l a 3

Średnie wartości modułu sprężystości oraz maksymalnych naprężeń niszczących wycinków kory marchwi odmiany Perfekcja ściskanych w poprzek osi korzenia, bezpośrednio po zbiorze

Para- metr	Perfekcja					
	kombinacja agrotechniczna					
	Aa	Ab	Ac	Ba	Bb	Bc
E	8,66	8,36	9,48	10,36	8,77	9,76
σ	3,61	3,08	3,24	3,66	3,00	3,28

E - moduł sprężystości (MPa), σ - maksymalne naprężenie niszczące próbkę (MPa).

Pozostałe oznaczenia jak w tabeli 1.



Rys.1. Przebieg procesu ściskania wycinków kory wzdłuż osi korzenia marchwi
 1 - bezpośrednio po zbiorze, 2 - po 7 miesiącach przechowywania w woreczkach foliowych, 3 - po 40 dniach przechowywania w woreczkach z siatki

nego jako jednorodna belka cylindryczna. Wskaźnik ten wykazuje dużą zmienność w okresie przechowywania, lecz trudno go porównać z okresem przechowywania czy utratą wilgoci przez korzenie. Maksymalna siła powodująca pęknięcie próbki zmienia się podobnie jak wartości naprężeń niszczących wyznaczone w poprzednich próbach. Tu także w ostatnich miesiącach przechowywania zauważono wzrost lub zahamowanie spadku jej wartości.

T a b e l a 4

Średnie wartości modułu sprężystości wycinków kory marchwi odmiany Perfekcja ściskanych wzdłuż osi korzenia w czasie przechowywania

Para- metr	Termin badania						
	bezpośre- dnie po zbiorze	grudzień	styczeń	luty	marzec	kwiecień	maj
E'	6,48	4,10	3,27	2,99	2,70	2,12	1,85

E' - moduł sprężystości obliczony według stycznej do początkowego odcinka charakterystyki siła - odkształcenie (MPa).

Średnie wartości modułu sprężystości oraz maksymalnych naprężeń niszczących próbek kory i rdzenia marchwi rozciąganych wzdłuż osi korzenia w okresie przechowywania

Odmiana (sposób przecho- wywania)	Para- metr	Termin badania				
		bezpośrednio po zbiornie	grudzień	styczeń	lutyc	marzec
Perfekcja (folia)	E'	$\frac{12,92}{7,18}$	$\frac{13,32}{8,03}$	$\frac{6,59}{4,89}$	$\frac{7,36}{4,13}$	$\frac{8,24}{4,59}$
	σ	$\frac{1,86}{1,10}$	$\frac{1,64}{0,85}$	$\frac{1,41}{1,15}$	$\frac{1,44}{1,11}$	$\frac{1,61}{1,19}$
Flacor (folia)	E'	$\frac{13,05}{8,34}$	$\frac{13,63}{6,28}$	$\frac{8,45}{6,07}$	$\frac{9,63}{4,80}$	$\frac{9,51}{4,30}$
	σ	$\frac{1,28}{0,80}$	$\frac{1,56}{1,08}$	$\frac{1,26}{1,23}$	$\frac{1,63}{1,06}$	$\frac{1,62}{1,20}$
Nantejska (folia)	E'	$\frac{10,83}{6,32}$	$\frac{6,90}{4,91}$	$\frac{6,52}{5,01}$	$\frac{5,65}{5,06}$	$\frac{5,90}{4,89}$
	σ	$\frac{1,31}{1,02}$	$\frac{1,78}{1,35}$	$\frac{1,60}{1,18}$	$\frac{1,40}{1,03}$	$\frac{1,53}{1,03}$
Perfekcja (siatka)	E'		$\frac{5,64}{3,34}$			
	σ		$\frac{1,36}{1,17}$			

E' - moduł sprężystości (MPa) obliczony na podstawie początkowego odcinka charakterystyki, σ - naprężenie zrywające próbkę (MPa), licznik dotyczy części zewnętrznej (kory), mianownik dotyczy walca osiowego (rdzenia).

Podczas próby cięcia wyznaczono energię właściwą cięcia P i siłę maksymalną cięcia próbek o średnicy z przedziału 27 mm ÷ 30 mm F_m , (tab. 7). Praca cięcia, największa bezpośrednio po zbiorze, maleje znacznie w pierwszych miesiącach przechowywania, po czym war-

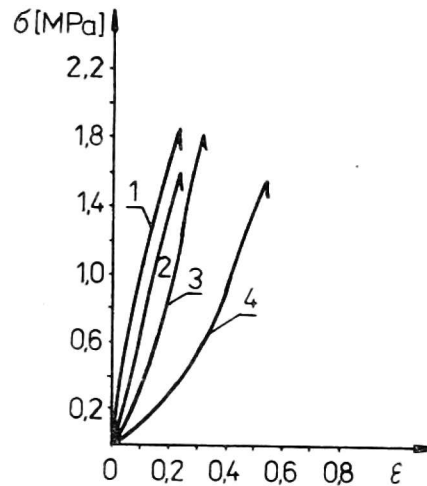
tość jej stabilizuje się. Maksymalna siła cięcia korzeni marchwi wszystkich odmian maleje w miarę czasu przechowywania. Istotne różnice w przebiegu procesu cięcia w zależności od terminu badania widoczne są na rysunku 3. Cięcie w pierwszych miesiącach przechowywania charakteryzowało się wieloma pęknięciami. Wykres cięcia próbki po czterech miesiącach przechowywania ma dość płynny przebieg z wyjątkiem miejsc przecięcia warstwy naskórka i włókniaka oddzielającego korę i rdzeń.

T a b e l a 6

Średnie wartości modułu sprężystości oraz siły niszczącej w próbach zginania całych korzeni marchwi

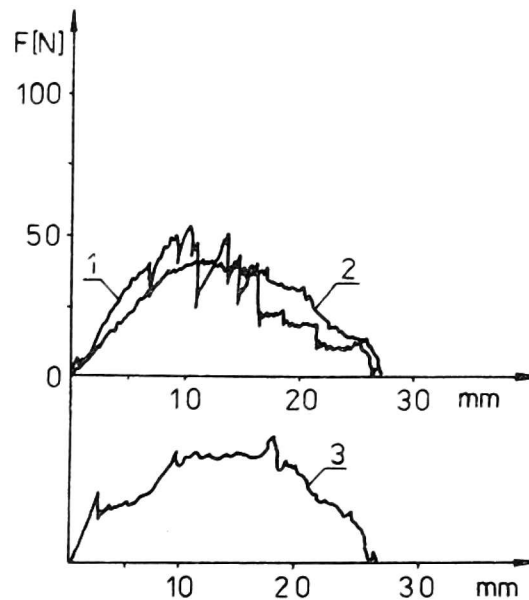
Odmiana (sposób przecho- wywania)	Para- metr	Termin badania				
		bezpośre- dnio po zbiornie	grudzień	styczeń	lutym	marzec
Perfekcja (folia)	E_z	10,12	9,53	3,81	4,45	4,73
	F_m	258,40	234,20	200,90	186,40	190,10
Flacor (folia)	E_z	7,76	5,50	6,77	7,01	7,22
	F_m	278,30	279,50	259,90	224,20	220,10
Nantejska (folia)	E_z	8,12	6,03	7,34	7,39	7,42
	F_m	234,90	215,80	228,40	232,20	221,20
Perfekcja (siatka)	E_z		2,35			
	F_m		188,80			

E_z - moduł sprężystości obliczony dla korzenia marchwi traktowanego jako jednorodna belka cylindryczna podparta w dwóch końcach (MPa), F_m - maksymalna siła potrzebna do złamania próbki obliczona dla przedziału średnic 27 ÷ 30 mm (N).



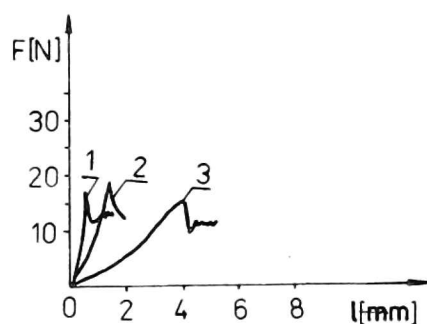
Rys.2. Przebieg procesu rozciągania wycinków kory wzdłuż osi korzenia

1 - bezpośrednio po zbiorze, 2 - po 3 miesiącach przechowywania w woreczkach foliowych, 3 - po 5 miesiącach przechowywania w woreczkach foliowych, 4 - po 40 dniach przechowywania w woreczkach z siatki



Rys.3. Przebieg procesu cięcia korzeni marchwi

1 - bezpośrednio po zbiorze, 2 - po 5 miesiącach przechowywania w woreczkach foliowych, 3 - po 40 dniach przechowywania w woreczkach z siatki



Rys.4. Zależność siła - odkształcenie w czasie badania penetrometrem

1 - bezpośrednio po zbiorze, 2 - po 5 miesiącach przechowywania w woreczkach foliowych, 3 - po 40 dniach przechowywania w woreczkach z siatki

T a b e l a 7

Średnie wartości jednostkowej pracy cięcia oraz maksymalnej siły powstającej w czasie próby cięcia całych korzeni marchwi

Odmiana (sposób przecho- wywania)	Para- metr	Termin badania				
		bezpośre- dnie po zbiorze	grudzień	styczeń	luty	marzec
Perfekcja (folia)	P	1,52	1,33	1,31	1,31	1,28
	F_m	49,10	44,10	39,20	43,90	41,00
Flacor (folia)	P	1,31	0,92	1,05	1,30	1,18
	F_m	51,20	49,20	53,90	45,80	43,20
Nantejska (folia)	P	1,48	1,30	0,97	1,04	1,01
	F_m	45,80	43,20	39,20	42,50	41,20
Perfekcja (siatka)	P		1,25			
	F_m		33,50			

P - jednostkowa energia cięcia (mm J/mm^2), F_m - maksymalna siła powstająca w czasie cięcia próbek z przedziału średnic $27 \div 30$ mm (N).

Średnie wartości maksymalnej siły oraz zagłębienia penetrometru o średnicy 2 mm do momentu załamania struktury w próbie badania penetrometrem

Odmiana (sposób przecho- wywania)	Para- metr	Termin badania					
		bezpośrednio po zbiorniku	grudzień	styczeń	luty	marzec	
Perfe- kcja (folia)	Aa	F_m	$\frac{15,5}{14,6}$	$\frac{13,9}{12,9}$	$\frac{14,9}{13,4}$	$\frac{16,1}{16,5}$	$\frac{16,9}{17,0}$
		Δl	$\frac{0,9}{0,6}$	$\frac{1,0}{0,7}$	$\frac{1,6}{1,0}$	$\frac{1,3}{1,1}$	$\frac{1,6}{1,2}$
	Ab	F_m	$\frac{14,0}{13,9}$	$\frac{14,6}{12,7}$	$\frac{14,4}{14,9}$	$\frac{15,1}{15,4}$	$\frac{15,9}{15,9}$
		Δl	$\frac{0,8}{0,7}$	$\frac{1,0}{0,8}$	$\frac{1,0}{0,8}$	$\frac{1,1}{0,9}$	$\frac{1,2}{0,9}$
	Ac	F_m	$\frac{16,8}{14,2}$	$\frac{14,6}{12,7}$	$\frac{14,7}{15,5}$	$\frac{15,2}{15,8}$	$\frac{15,4}{16,3}$
		Δl	$\frac{0,8}{0,5}$	$\frac{1,1}{0,7}$	$\frac{1,1}{0,8}$	$\frac{1,1}{1,0}$	$\frac{1,3}{1,0}$
	Ba	F_m	$\frac{14,7}{13,8}$	$\frac{14,2}{14,5}$	$\frac{16,7}{16,0}$	$\frac{15,9}{16,2}$	$\frac{16,2}{16,5}$
		Δl	$\frac{0,8}{0,7}$	$\frac{1,0}{0,7}$	$\frac{1,2}{0,8}$	$\frac{1,4}{1,1}$	$\frac{1,4}{1,2}$
	Bb	F_m	$\frac{13,1}{10,1}$	$\frac{14,5}{13,8}$	$\frac{14,3}{13,6}$	$\frac{14,3}{14,1}$	$\frac{14,5}{14,8}$
		Δl	$\frac{1,0}{0,7}$	$\frac{1,0}{0,8}$	$\frac{1,1}{0,8}$	$\frac{1,2}{0,9}$	$\frac{1,3}{1,2}$
	Bc	F_m	$\frac{13,6}{15,0}$	$\frac{15,6}{15,3}$	$\frac{15,1}{13,1}$	$\frac{15,4}{14,9}$	$\frac{15,6}{15,7}$
		Δl	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{1,0}{0,7}$	$\frac{1,0}{0,7}$	$\frac{1,2}{0,9}$	$\frac{1,2}{1,0}$
Flacor (folia)	F_m	$\frac{12,3}{10,3}$	$\frac{13,2}{14,0}$	$\frac{10,4}{10,2}$	$\frac{13,4}{12,3}$	$\frac{13,6}{13,1}$	
	Δl	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{1,0}{0,8}$	$\frac{0,9}{0,7}$	$\frac{1,0}{0,8}$	$\frac{1,1}{0,9}$	
Nantejska (folia)	F_m	$\frac{13,6}{13,1}$	$\frac{13,8}{12,0}$	$\frac{14,0}{12,4}$	$\frac{14,9}{13,2}$	$\frac{15,4}{13,8}$	
	Δl	$\frac{0,9}{0,6}$	$\frac{1,0}{0,8}$	$\frac{1,0}{0,7}$	$\frac{1,2}{1,0}$	$\frac{1,2}{1,0}$	
Perfekcja (siatka)	F_m		$\frac{15,3}{15,5}$				
	Δl		$\frac{4,0}{2,9}$				

F_m - siła maksymalna (załamania struktury), N, Δl - zagłębienie penetrometru do momentu załamania struktury, mm, licznik dotyczy części zewnętrznej (kory), mianownik dotyczy walca osiowego (rdzenia), pozostałe oznaczenia jak w tabeli 1.

Parametry wyznaczone w próbie nakłuwania penetrometrem: maksymalna siła załamania struktury i zagłębienie penetrometru odpowiadającej tej sile rosną w czasie przechowywania dla wszystkich badanych kombinacji (tab. 8). Wyjątek stanowią dwa pierwsze terminy badań, w których notuje się duży rozrzut wyników pomiarów. Zmiany w przebiegu charakterystyki są mniejsze niż w przypadku innych prób. Najbardziej wyraźne jest przemieszczenie w czasie przechowywania położenia punktu załamania struktury materiału (rys. 4).

DYSKUSJA WYNIKÓW

Zasadniczy wpływ na zmienność właściwości mechanicznych korzeni w czasie przechowywania ma zawartość wody i stan ich rozwoju fizjologicznego, w jakim się w danym okresie znajdują. Podstawowymi elementami struktury tkanek roślinnych określającymi ich właściwości mechaniczne są ścianki komórkowe. W czasie przechowywania korzeni w wyniku parowania powiększają się przestrzenie międzykomórkowe zwiększając przepływ powietrza do wnętrza. Pod wpływem działania powietrza polimerowe związki struktur komórkowych (celuloza, hemiceluloza) ulegają częściowej dehydratacji. Zwiększenie spoistości tych związków winno wpływać dodatnio na wytrzymałość i własności sprężyste tkanek. Badania przeprowadzone przez autorów radzieckich i francuskich [1, 12] wykazały zwiększenie zawartości celulozy, hemicelulozy i pektyn w tkankach marchwi w funkcji czasu przechowywania. Zjawiska te wyjaśniają wzrost wszystkich parametrów określających wytrzymałość korzeni (naprężenia i siły niszczące, maksymalna siła cięcia, tab. 1, 2, 5-8) w okresie od stycznia do maja. Procesy parowania i oddychania roślin trwają ze względnie stałym nasileniem przez cały okres przechowywania i na tej bazie nie można wyjaśnić znacznych wahań modułów sprężystości, jak i wartości naprężeń krytycznych w okresie dwóch miesięcy po zbiorze. Niektórzy autorzy [16, 17] w celu określenia wewnętrznych ciśnień i sił spójności komórek zaproponowali badanie ciśnienia osmotycznego i turgorowego komórek. Badania przeprowadzone przez innych autorów [2, 9-11, 14] nad modelami ciał lepko-sprężysto-plastycznych jako

modelami komórek roślinnych pozwoliły na zaproponowanie równań konstytutywnych. Z przyjętych rozwiązań wynika, że moduł sprężystości przy ściskaniu jak i przy rozciąganiu jest zależny od ogólnego potencjału wodnego w komórce.

Przytoczone w tych pracach zależności dowodzą, że korzenie bezpośrednio po zbiorze, kiedy ich komórki znajdują się w stanie turgoru, powinny mieć najwyższą wartość modułów sprężystości, co potwierdzają wyniki przeprowadzonych pomiarów.

Duża zawartość wody w komórkach i przestrzeniach międzykomórkowych powoduje częściową hydratację związków polimerowych, z których zbudowane są ścianki komórkowe. Zjawisko to może spowodować zmniejszenie wytrzymałości tkanek. Z przeprowadzonych badań wynika jednak, że w początkowym okresie przechowywania decydujący wpływ na właściwości mechaniczne ma stan potencjału wodnego komórki. Ma on również wpływ na duży rozrzut wyznaczanych w tym okresie parametrów, co może być spowodowane lokalnie różnym uwilgoceniem gleby, czego dowodem są różnice w zawartości wilgoci w korzeniach bezpośrednio po zbiorze, dochodzące do około 3%.

Spadek wartości modułów sprężystości w początkowym okresie przechowywania spowodowany jest zapewne zmniejszeniem się potencjału wodnego wraz z utratą wilgotności.

Wstępne badania właściwości mechanicznych korzeni marchwi przeprowadzone przez autorów tej pracy w 1981 r. wykazały wyższe wartości modułów sprężystości obliczonych w próbach ściskania i rozciągania. Dotyczy to szczególnie terminu „bezpośrednio po zbiorze”. Tak jak już wspomniano rok 1982 był bardzo suchy. Mając na uwadze fakt, że średnia zawartość suchej masy w zbiorach z obu lat różniła się nieznacznie należałoby sądzić, że bezpośrednią przyczyną różnych wartości modułów był zróżnicowany poziom potencjału wodnego tkanek.

WNIOSKI

1. W czasie przechowywania korzeni marchwi po początkowym spadku wytrzymałości tkanek (2-3 miesiące po zbiorze) następuje jej powolny i równomierny wzrost.

2. Korzenie marchwi mają wyższe moduły sprężystości i niższą wytrzymałość na rozciąganie w stosunku do analogicznych parametrów uzyskanych w próbie ściskania. Różnice te zacierają się po kilku miesiącach przechowywania. Z wyjątkiem pierwszego miesiąca moduły sprężystości i naprężenia krytyczne są wyższe dla rdzenia.

3. Spośród wszystkich wykonanych prób ściskanie daje najwięcej informacji o badanym materiale, a moduł E' obliczony na podstawie początkowego odcinka charakterystyki siła - odkształcenie może być użyty jako wskaźnik świeżości.

4. Na podstawie przeprowadzonych badań nie stwierdzono różnic właściwości mechanicznych marchwi w zależności od stosowanych dwóch poziomów nawożenia i trzech wariantów uprawowych. Stwierdzono natomiast pewne różnice odmianowe wskazujące na wyższą twardość i wytrzymałość Perfekcji niż odmian Nantejska i Flacor.

PIŚMIENICTWO

1. Aubert S., Bonnet A., Szot B.: Mise au point d'indices rhéologiques de texture en relations avec quelques caractères biochimiques chez la carotte (*Daucus carota* L.). Ann. Technol. Agric., 28, 4, 1979.
2. De Baerdemacker I.G. and al.: Water potential effect on tensile and compressive failure stresses of apple and potato tissue. ASAE Technical Paper 78 - 3057, 1978.
3. Baumann H.: Preservation of carrot quality under various storage conditions. Acta Hort., 38, 1, 1974.
4. Bourne M.C.: Measure of compression components of puncture test. J. Food Sci, 31, 1966.
5. Brežniew B.V.: Ovošči rodnik zdorovia, Lenizdat, 1971.
6. Horvath-Mosnonyi M., Horvath L.: Heat - induced changes in the texture of carrots, Acta Alim., 11, 1, 1982.
7. Howard P.L., Heinz D.E.: Texture of carrots. J. Texture Studies, 1, 1970.
8. Konstaropoulos A.E.: The introduction of an empirical expression in the texture studies of vegetables, Lebeusm.-Wiss. u.-Technol, 14, 1981.
9. Murase H. and al.: Variation of Young's modulus of potato as a function of water potential. ASAE Technical Paper 79-3065, 1979.
10. Murase H. and al.: Failure mode of vegetative tissue. ASAE Technical Paper 79-3064, 1979.

11. Murase H. and al.: Water potential effect on dynamic moduli of potato tissue. ASAE Technical Paper 80-3049, 1980.
12. Nikolaev B.A., Guryanova S.S., Troyanskaya N.I., Panova E.I., Soloveva G.N.: Variations in structural and mechanical properties of carrot and cabbages during storage, Pischevaya Tekhnologiya, 2, 1980.
13. Phan C.T., Hsu H., Sarkar S.K.: Physical and chemical changes in the carrot root during storage. Canadian J. of Plant Science, 53, 3, 1973.
14. Segerlind L.J., Snovar B.A., Heldman D.R.: Compression and relaxation properties of carrots. J. Texture Studies, 7, 4, 1977.
15. Strebeyko P.: Procesy biofizyczne w roślinie. PWN, 1976.
16. Szcześniak A.S.: Clasification of textural characteristics, J. Food. Sci., 28, 1963.
17. Szcześniak A.S.: Instrumental methods of texture measurements. [W:] Texture measurement of foods. A. Kramer and A.S. Szcześniak Eds., D. Reidel, Publishing Co. 1973.

Б. Шот, Т. Кенсик, К. Голацки

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРНЯ МОРКОВИ
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОРТОВЫХ КАЧЕСТВ, АГРОТЕХНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
И ПЕРИОДА ХРАНЕНИЯ

Р е з ю м е

В работе представлено результаты исследований механических свойств целых корней, а также вырезков коры и сердцевин 3 сортов моркови: Перфекция, Нантская и Флакор. Для сорта Перфекция в исследованиях учли 2 уровня удобрения и 3 варианта возделывания. Измерения провели непосредственно после сбора, а остальной материал в сетчатых и перфорированных полиэтиленовых мешочках хранили в холодильнике в темп. + 3°C. Из каждой комбинации брали пробы для дальнейших исследований в интервале одного месяца. Для всех исследуемых проб устанавливали характеристики сила - деформация при сжатии и растяжении коры и сердцевин. Провели также резку и изгибание целых корней и пенетрометрические исследования. Из диаграмм аппаратуры Инстрон прочли коэф-

коэффициенты упругости, силы и критические напряжения. Обнаружено отсутствие существенного влияния агротехнических факторов на механические свойства моркови и наибольшую пригодность испытания на сжатие для оценки этих свойств, а также свежести моркови. Предприняли попытку выяснения причин изменения исследуемых параметров.

B. Szot, T. Kęsik, K. Gołacki

INVESTIGATION OF VARIABILITY OF MECHANICAL PROPERTIES OF CARROT ROOTS AS RELATED TO VARIETY FEATURES, AGROTECHNICAL FACTORS AND STORAGE PERIOD

S u m m a r y

The paper presents results of the investigations of mechanical properties of intact roots, and also of segments of xylem and phloem of three carrot varieties: Perfekcja, Nantejska and Flacor. In the case of Perfekcja variety 2 fertilization levels and 3 cultivation treatments were included in the study. The measurements have been performed immediately after harvesting, and in month intervals during storage in polyethylene bags at a temperature $+3^{\circ}\text{C}$. For all the samples force - deformation characteristics for compression and extension of xylem and phloem were determined. Also shearing, bending and penetrometer measurements of intact roots were performed. From the plots obtained with Instron instrumentation elasticity coefficients and critical forces and tensions were estimated. No significant influence of agrotechnical factors on carrot properties was found. The most useful for evaluation of mechanical properties and freshness of carrot appeared to be the compression test. An explanation of the cause of the changes in the parameters studied was attempted.