

OCENA JĘDRNOŚCI PRZECHOWYWANYCH JABŁEK
PRZY ZASTOSOWANIU STATYSTYCZNEJ METODY REDUKCJI
WYMIARÓW W MODELU

Adam Paweł Kuczyński

Instytut Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego PAN, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: akucyski@demeter.ipan.lublin.pl

Streszczenie. Za pomocą testu jędrności jabłek (Magnes-Taylor φ 8 mm) wskazano próby chłodnicze przygotowane z 33 odmian, w których naturalne zróżnicowanie dojrzałości i jędrności zostało zachowane od zbioru owoców w ciągu kilku miesięcy przechowywania. Rozkład statystyczny jędrności w próbie chłodniczej ma silną asymetrię prawostronną i najczęściej spłaszczenie dodatnie, dlatego do porównań jędrności wymagane jest staranne przygotowanie doświadczenia przechowalniczego i specyficzna analiza statystyczna wyników. Średnie parametru jędrności nie charakteryzują w wystarczający sposób, przechowywanych jabłek i do opisu należy użyć mediany i kwartyli. Wskazano możliwość określania stanu dojrzałości jabłek w próbie chłodniczej poprzez pomiar wskaźnika zróżnicowania jędrności pomiędzy klasami wybarwienia ustalonymi podczas zbioru owoców. Zastosowanie analizy czynnikowej uprościło opis zmian jędrności przechowanych jabłek wielu odmian. Wprowadzono trzy czynniki – wskazano trzy grupy odmian, których jędrność ulega podobnym zmianom w procesach przechowalniczych.

Słowa kluczowe: jabłka, odmiany, dojrzałość, jakość, metoda, przechowalnictwo

WSTĘP

Dysponując choćby najprostszym jędrnościomierzem sadownik może podejmować próby samodzielnego kontrolowania jakości jabłek w swojej chłodni. Jeżeli jędrność jest niższa od dolnych granic przedstawianych w zaleceniach, należy się liczyć z tym, że owoce osiągnęły dojrzałość konsumpcyjną i nie nadają się do dłuższego przechowywania. Gdy wartość średnia z pomiarów mieści się w zalecanych granicach, to należy wykorzystać dodatkowy wskaźnik jakości, dla dokładniejszego określenia stanu fizjologicznego owoców [22].

Optymalne jędrności jabłek do zaleceń sadowniczych, wyznaczano miernikiem Magness-Taylor'a (M-T \varnothing 11mm) przebijakiem o średnicy 11mm [10,22]. Wiele jest metod, a więc i parametrów mechanicznych opisujących właściwości mechaniczne i każdy z nich mógłby pretendować do roli oceny jędrności [1,7,8,17,14,15,20,23,24].

Doświadczenia przechowalnicze prowadzone są zwykle na dużych ilościach materiału lecz na co najwyżej kilku odmianach. Sposób przygotowania, bardzo często jednorodnych próbek owoców, wymaga wieloletniej praktyki badacza w zakresie zastosowanej lub badanej technologii.

Dla „producenta” jabłek najbardziej ekonomiczną metodą oceny swoich owoców w sezonie chłodniczym jest wyjęcie z komory chłodniczej całej skrzynki, przesortowanie jej zawartości i ocena miąższu, pokrojenie jabłek. Nie oczekuje on na metody nieniszczące i nawet znane jest stwierdzenie, że „pokrojone kilogramy zaoszczędzają tony” [11].

Sterowanie jędrnością jabłek przechowywanych nabiera w Polsce znaczenia gdyż do sieci handlowych owoce sprzedawane są w tzw. stanie dojrzałości handlowej. Dla wielu odmian bardzo się ona różni od tzw. stanu dojrzałości spożywczej [12]. Nowe technologie chłodnicze, handel w supermarketach domagają się dużej odporności mechanicznej, „wyrównanych” właściwości jabłek i promują optymalną, „lepszą jakość”, starają się sprowadzać do minimum straty w handlu nietrwałym produktem [12].

W licznych pracach przedstawiono historię badań jędrności [1,24] lecz trudno jest tam znaleźć odpowiedź na pytania od „producenta” jabłek [5,6]. Czy po długim przechowywaniu do osiągnięcia stanu pełnej dojrzałości spożywczej jabłek, można jeszcze rozróżniać jędrność w grupach wybarwienia? Jakie zmiany jędrności występują w najpóźniejszych terminach przechowywania? Czy można wykorzystać naturalną zmienność jędrności w tzw. próbie chłodniczej, jako element do optymalizacji terminu opróżnienia chłodni? W jakim stopniu możliwa jest i czy konieczna jest standaryzacja pomiarów jędrności jabłek w praktyce przechowalniczej? Żeby odpowiedzieć w pracy na „trudne” pytania sadownika należało zastosować w badaniach, niespotykane w tradycji i w literaturze, modyfikacje z zakresu materiału, metod badawczych i opracowania wyników.

MATERIAŁ I METODA

Zbiór owoców i przygotowanie prób chłodniczych

Owoce pochodziły z sadu Sadowniczego Zakładu Doświadczalnego Albigowa (woj. Podkarpackie) założonego przez ISK w Skierniewicach jako ściśle doświadczenie agrotechniczno-produkcyjne. Jabłonie były wyrównane wiekowo i weszły w 4-6 rok owocowania produkcyjnego.

Do badań użyto owoców z 33 odmian jabłoni: Honeygold (HGD), Szampion (SAM), James Grieve (JGV), Mac Spur (MPR), Wealthy (WHY), Fantazja (FZJ), Cortland (CTR), Prima (PRI), Ozark Gold (OZG), Lobo (LBO), Jonagold (JOG), Mc Intosh (MCI), Książę Albrecht Pruski (KAP), Beforest (BFR), Melrose (MEL), Elstar (ELS), Starkrimson (STN), Golden Delicious (GDL), Freedom (FDM), Idared (IDR), Gloster (GST), Jonathan (JON), Starking (STK), Macoun (MUN), Spartan (SPT), Billing Boscoop (BIB), Bancroft (BKF), Gala (GAL), Boiken (BOI), Liberty (LBR), Florina (FLO), Red Fireside (RFS), Ligol (LIG).

Optymalny termin zbioru w sadzie wieloodmianowym określili metodami organoleptycznymi, doświadczeni w zakresie chłodniczego przechowywania sadownicy i wykonali reprezentatywny, ręczny zbiór owoców. Z 10 do 15 drzew każdej odmiany zrywano owoce, z których część odkładano na płachtę rozścielaną w sadzie. Zebrana część plonu utworzyła „próbę chłodniczą” wybraną reprezentatywnie dla sezonu produkcyjnego i dla badanej odmiany.

Próbę chłodniczą rozdzielano na 5 klas, różniących się stopniem wybarwienia jabłek, w następujący sposób. Początkowo z każdej odmiany uformowano dwie równoliczne grupy najsilniej różniące się wybarwieniem, a u odmian z rumieńcem, zaawansowaniem rumieńca. Pierwszy podział pozwalał poznać zmienność barwy owoców w próbie u każdej odmiany. Na tej samej zasadzie rozdzielono dwie grupy i w efekcie uzyskano 5 klas [13,16]. Osiągnięto cel klasyfikacji: wykorzystano wszystkie owoce z próby chłodniczej, wprowadzono do niej „klasy dojrzałości” i zachowano jednakową liczebność utworzonych klas. Jabłka podpisano kolejnymi numerami; od 1 – klasa najlepiej wybarwiona do 5 – klasa słabiej wybarwiona. Z próby usunięto jedynie owoce zebrane przez nieuwagę tzn. owoce zbyt małe i nadwymiarowe w plonie lub uszkodzone.

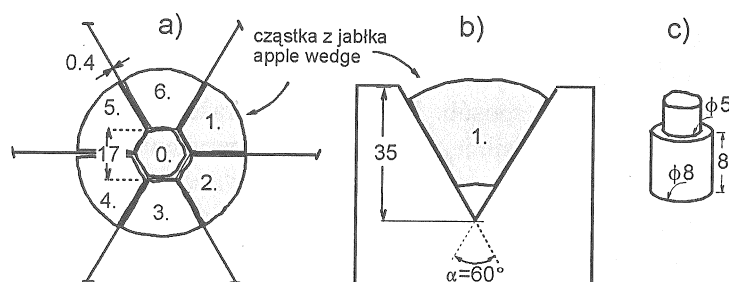
Warunki przechowywania

Próby chłodnicze umieszczano wraz z innymi jabłkami w chłodni i w przechowalni. Podczas przechowywania w chłodni zapewniono temperaturę w zakresie od 3°C do 6°C [18], a w przechowalni gospodarczej od 4°C do 11°C [5,6] – przyjęto warunki „bezpieczne” dla odmian. Zapewniono wysoką (89-95%) wilgotność względną powietrza. Jabłka wyjmowane były z chłodni w dwóch terminach – wczesnym „chłodnia-1” i późnym „chłodnia-2”, a z przechowalni wyjmowano każdą odmianę jednokrotnie – oznaczenie „przechowalnia”. Okres przechowywania znacznie się różnił w chłodniach i w przechowalni, a także terminy dla każdej odmiany zostały optymalnie wybrane przez doświadczonego sadownika tak, aby owoce osiągnęły wpięrcw stan dojrzałości handlowej i ostatecznie spożywczej.

Po przechowaniu wyjmowano część „próby chłodniczej”. Ponumerowane owoce kondycjonowano przez 24 do 48 godzin w temperaturze około 18°C, nadal utrzymując dużą (89-95%) wilgotność względną powietrza i warunki zacinienia. Owoce osiągnęły pełną dojrzałość spożywczą i aktywność fizjologiczną w dniu wykonywania pomiarów.

Przygotowanie próbek

Najmniejsza próbka odmianowa z każdego terminu przechowywania składała się z 5 klas po 6 owoców w klasie. Ręczną maszynką do sałatek, wykonaną ze stali nierdzewnej, cięto owoce. Powstawało 6 cząstek i usuwane było gniazdo nasienne (rys. 1 a). W ciągu półgodziny wykonywano ocenę wszystkich cząstek z jabłka.



Rys. 1. Zestaw pomiarowy: noże do cięcia jabłka na 6 cząstek i usuwania gniazda (a), podstawka dla cząstki (b), płaskie zakończenie przebijaka do badań jędrności (c)

Fig. 1. Experimental set: knives for apple coring and slicing into six wedges (a), support for an apple wedge in the puncture test (b), flat point probe of the penetrometer (c)

Metoda pomiaru jędrności

Przenośnym miernikiem dynamometrycznym, który wykonano w laboratorium, mierzono maksymalną siłę wbicia przebijaka w miąższ owocu. Cząstkę jabłka umieszczano w podstawce-uchwycie (rys. 1 b). Przed pomiarem odcinano plaster skórki z miąższem (grubość 2-4 mm). Przebijak o średnicy 8 mm wprowadzano w miąższ na głębokość 8 mm (rys. 1 c). Mierzono jędrność kolejnych cząstek owocu. Wszystkie pomiary wykonała jedna osoba, w pozycji siedzącej, trzymając miernik w ręce i opierając przedramiona na stole.

Dynamometr testowano podczas całego sezonu, kontrolując jego trwałość i powtarzalność wyników. Zakres pomiarowy wynosił od 5 N do 70 N, wartość działki elementarnej 0,15 N, błąd maksymalny pojedynczego pomiaru siły zagłębienia w jabłko wynosił 7 działek elementarnych tj. 1 N.

Metody opracowania pomiarów

Wyniki pomiarów opracowano programem Statistica [25]. Wynikiem dla każdego jabłka była wartość mediany. Zastosowano testy: trzy czynnikiem ANOVA w układzie zupełnym, 2-czynnikiem nieparametryczną analizę wariancji Kruskala-Wallisa, analizę jednorodności wariancji Levene'a, korelacje Pearsona.

Efektywnie wykorzystano analizę składowych głównych [3]. Ponieważ dla każdej odmiany zastosowano taki sam schemat: 3-terminy badań przechowalniczych, 5-dojrzałości, 6-liczba owoców w klasie dojrzałości i mediana jako przeciętne oznaczenie, więc dla każdej odmiany powstawała zmienna wyjściowa charakteryzująca jędnosć owoców w trzech procesach przechowalniczych.

Wyznaczano składowe główne. Obliczono ładunki czynnikowe. Można je interpretować tak jak współczynniki korelacji pomiędzy tworzonymi czynnikami a badanymi zmiennymi – cechami. Zależności pomiędzy cechami mierzonymi, a czynnikami były trudne do interpretacji więc wprowadzono strategię upraszczania struktury czynnikowej – obrót varimax z normalizacją.

Obrót układu doprowadził do struktury prostszej tzn. jedne ładunki czynnikowe osiągnęły duże a inne bliskie zera wartości. Można to odczytać w taki sposób – niektóre cechy zmierzone (zmiennie wyjściowe) utworzone z pomiarów dla odmian stały się silnie skorelowane z pierwszym, inne z drugim itd. czynnikiem. Czynniki nie są ze sobą skorelowane i różnią się rozrzutem, czyli wartościami wariancji. Na podstawie wartości ładunków czynnikowych (korelacji) oceniono przynależność odmian (zmiennie wyjściowe) do czynników. Wskazano na te odmiany, przy których wartość ładunku przekraczała $\pm 0,6$. Zmienne teoretyczne (wynikowe), które powstały po obrocie układu noszą nazwę składowych głównych.

Jeśli niektóre z utworzonych składowych głównych zostaną pominięte w dalszej analizie – to decydując się na takie pominięcie pewnego (%) zmienności całkowitej w doświadczeniu, wnioskowanie uprości się gdyż dotyczyć będzie zaledwie kilku, nowo powstałych zmiennych – składowych głównych. Pozostałe w modelu składowe, po zabiegu standaryzacji, nazywamy czynnikami głównymi.

Decyzję o liczbie czynników głównych pozostawionych w modelu podjęto w oparciu o wykres wartości własnych dla czynników – „kryterium osypiska”. Załamania na wykresie przy kolejnym numerze czynnika wskazuje, że wkład do zmienności ogólnej, wnoszony do modelu, zdecydowanie maleje.

Obliczono wartości czynnikowe, tzn. miary jędnosći, odpowiadające terminom, klasom wybarwienia i kolejnym powtórzeniom. Miały one wartości standaryzowane (średnia populacji = 0, a odchylenie standardowe = 1). Wprowadzono dla nich kategoryzację (trzy terminy chłodnicze i pięć klas dojrzałości) i wykonano analizy

statystyczne dla tych nowych miar jędrności. W ten sposób posługując się jednocześnie próbkami z wielu odmian, oceniono zmienność jędrności w procesach przechowalniczych. Otrzymane dla tych miar wartości przeciętne i parametry rozproszenia pozwoliły zdecydować, jak każdy czynnik, prezentujący charakterystykę zmian jędrności, należy interpretować i jakie charakterystyczne cechy można przypisać wyłonionym grupom odmian.

WYNIKI

Parametry statystyczne pomiarów jędrności owoców przechowywanych w różnych warunkach, terminach i dla różnych odmian zestawiono w tabeli 1. Mediana jędrności zwykle jest niższa od wartości średniej, a skośność jest dodatnia – to świadczy, że niewielka liczba owoców zachowała wyższą jędrność. Połowa liczebności zbadanych jabłek znajduje się w rozstępie kwartyłowym 8,6 N, w zakresie od 18,1 N do 26,8 N. Zarejestrowano maksymalną jędrność 54 N i minimalną 8,1 N.

W podstawowych analizach statystycznych pomiarów jędrności, otrzymano wysoce istotne korelacje wartości średnich z ich odchyleniami standardowymi dla wszystkich badanych odmian lub klas dojrzałości i w terminach przechowywania. Zrezygnowano z wykonanych, lecz wątpliwych wyników tradycyjnej ANOVA i zastosowano test nieparametryczny Kruskala-Wallisa. W ten sposób wyłoniono zestaw odmian, w którym otrzymano statystycznie istotny wpływ czynników: terminu chłodniczego, albo dojrzałości na parametr jędrności.

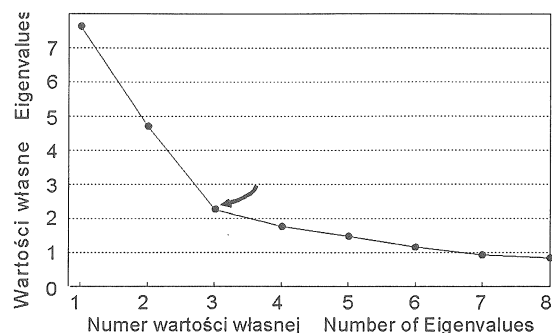
Porównując dwa terminy/dostawców; „chłodnia-1” i „chłodnia-2”, stwierdzono istotną zmianę jędrności dla jedenastu odmian. We wcześniejszym terminie (tj. „chłodnia-1”), dla jedenastu odmian, można było odróżnić klasy dojrzałości ustalone w chwili zbioru, a w późniejszym terminie („chłodnia-2”) dla ośmiu odmian.

Dla klas dojrzałości występowała powszechnie znana tendencja, gdy wzrastała dojrzałość to malała jędrność, lecz istotne różnice wystąpiły pomiędzy klasami krańcowymi. Dla niektórych odmian wyższą przeciętną jędrność otrzymano w klasach lepszej dojrzałości lub po dłuższym okresie chłodniczym.

Zastosowano analizę składowych głównych, w której zmiennymi były zestawy pomiarów jędrności prób odmianowych. Na podstawie „kryterium osypiska” przyjęto za wystarczające trzy składowe (rys. 2). Wyjaśniają one łącznie 48% zmienności zawartej w pomiarach i ta część informacji z pomiarów jędrności może być wyjaśniona hipotezą, że w danych dominują trzy „ukryte” wymiary.

Tabela 1. Oceny statystyczne jędrności (N) miąższu owoców w stadium dojrzałości spożywczej dla 33 odmian jabłoni (przebijak ϕ 8 mm)**Table 1.** Statistical parameters of apple firmness (N) at consumption ripeness for 33 cultivars determined by means of a penetrometer ϕ 8 mm

Odmiany Cultivars	Liczba obserwacji Number of observ.	Mediana Median	Kwartył dolny Lower quartile	Kwartył górny Upper quartile	Rozstęp kwartyłowy Quartile range	Min.	Max.	Śred- nia Mean	Odch. std. S.D.	Skoś- ność Skew- ness	Kurtoza Kurtosis
HGD	90	15,3	12,4	17,4	5,0	10	26	15,4	3,6	0,67	
SAM	90	15,3	14,5	17,4	2,9	12	30	15,9	2,6	1,93	8,30
JGV	90	16,0	13,8	18,9	5,0	9	26	16,8	3,8	0,61	
MPR	90	17,1	16,0	18,9	2,9	12	30	17,5	2,9	1,40	3,60
WHY	120	17,4	13,8	20,3	6,5	11	33	18,3	5,1	0,85	
FZJ	120	18,1	16,7	21,0	4,3	13	35	19,1	3,6	1,59	4,50
CTR	90	18,1	16,7	21,7	5,0	11	27	19,1	3,2	0,32	-0,40
PRI	90	18,9	17,4	21,0	3,6	14	24	19,0	2,6		-0,60
OZG	60	19,2	17,4	23,2	5,8	14	28	20,2	3,8	0,52	-0,70
LBO	90	19,6	16,7	21,0	4,3	9	29	19,0	4,1		
JOG	90	19,6	16,7	21,7	5,0	13	28	19,7	3,5	0,62	
MCI	90	20,3	19,6	22,5	2,9	15	28	20,6	2,6	0,48	0,50
KAP	60	20,3	18,1	21,7	3,6	14	25	20,0	2,7		
BFR	90	21,0	19,6	23,9	4,3	15	30	21,8	3,5	0,35	-0,60
MEL	90	21,0	19,6	23,2	3,6	13	33	21,3	3,5	0,66	0,80
ELS	90	21,0	18,9	22,5	3,6	14	30	20,9	3,2	0,69	0,40
STN	90	21,7	19,6	26,8	7,2	17	37	23,4	5,1	0,78	
GDL	90	21,7	19,6	25,3	5,8	14	35	22,8	4,2	0,51	
FDM	120	22,5	19,6	24,6	5,0	15	43	22,4	4,3	1,13	3,30
IDR	90	22,5	21,0	24,6	3,6	14	29	22,5	3,2	-0,36	
GST	90	22,8	19,6	26,1	6,5	8	30	22,8	3,9	-0,57	0,90
JON	90	23,9	19,6	26,1	6,5	11	35	23,0	4,5		
STK	90	23,9	20,3	28,2	7,9	14	36	24,3	4,8	0,35	-0,60
MUN	90	24,3	21,0	26,8	5,8	14	38	24,8	4,2	0,40	0,50
SPT	90	25,3	22,5	28,2	5,8	17	43	26,3	4,9	1,17	1,80
BIB	90	27,5	24,6	30,4	5,8	12	39	27,7	4,0		1,50
BKF	90	28,2	26,1	30,4	4,3	22	38	28,1	3,3	0,62	0,40
GAL	90	28,6	26,8	31,1	4,3	22	38	29,1	3,1		
BOI	60	28,9	27,5	31,1	3,6	25	35	29,2	2,9		-0,60
LBR	90	29,7	26,8	31,1	4,3	21	40	29,1	3,8		
FLO	90	29,7	26,1	35,4	9,4	20	51	31,5	7,3	0,91	
RFS	90	31,1	27,5	34,0	6,5	23	43	31,3	4,6	0,54	-0,50
LIG	90	34,3	30,4	41,2	10,8	21	54	35,4	7,6		-0,70
Ogółem Groups	2970	21,7	18,1	26,8	8,6	8,1	54	22,8	6,3	0,87	1,26



Rys. 2. Wykres „osypiska” dla wartości własnych jako kryterium wskazujące na wystarczającą liczbę czynników w modelu (3 wartości własne)

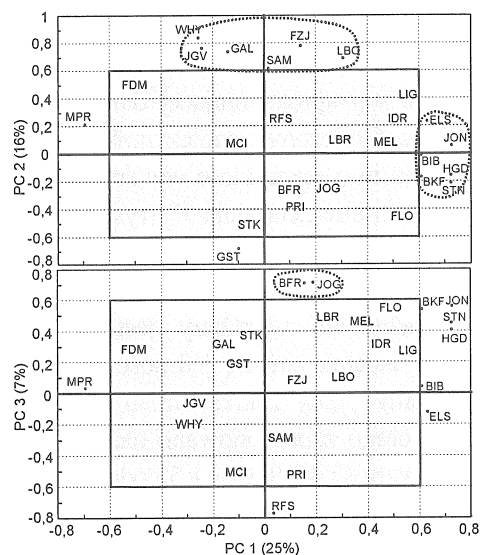
Fig. 2. A screen test of the model eigenvalues (3 eigenvalues) as a criterion indicating a sufficient number of factors in the model (a method for data reduction)

Ładunki czynnikowe obliczone metodą varimax z normalizacją przedstawiono na rysunku 3. Na podstawie wartości ładunków większych od $\pm 0,6$ wybrano zmienne (próbki odmianowe) skorelowane z czynnikami. W ten sposób zestawiono trzy „grupy zmiennych” – odmian, wskazane przez ładunki czynnikowe.

Model zróżnicowania jędrności przechowywanych jabłek został opisany trzema, wyłoniłymi czynnikami jędrności. Czynnik jędrności PC1 „ładowany jest” głównie przez próbki z odmian: STN, HGD, JON, BIB, ELS, MPR, BKF. Czynnik PC1 nazwano, odpowiednio do zaobserwowanych cech jabłek, jabłka – „handlowe”. Czynnik – PC2 łączy odmiany: WHY, JGV, FZJ, GAL, LBO, SAM, GST i nazwano go jabłka „konsumpcyjne”. Czynnik jędrności – PC3 zbudowany jest z próbek odmian: RFS, BFR, JOG i nazwano go jabłka „bazarowe”.

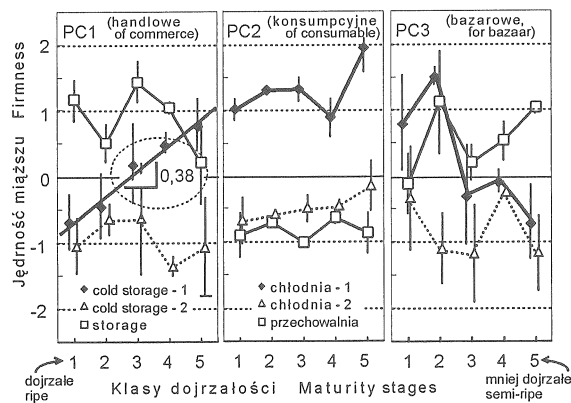
Obliczono wartości teoretyczne jędrności dla tych trzech czynników. Skategoryzowany wykres rozrzutu (rys. 4) przedstawia w sposób syntetyczny zmiany jędrności odpowiadające trzem terminom chłodniczym i pięciu klasom dojrzałości utworzonym w chwili zbioru.

Rozpatrując wynik analizy „testu r mediany” stwierdzono istotności różnic median i to, że czynniki główne w sposób istotny różnicują terminy. Czynnik PC2 (konsumpcyjne) dyskryminuje termin „chłodnia-1” od obu terminów „chłodnia-2” z „przechowalnią” (rys. 4). Czynnik PC3 (bazarowe) dobrze dyskryminuje termin „przechowalnia” od terminu „chłodnia-2”. Natomiast czynnik PC1 (handlowe) nie rozdziela terminów, lecz dokładna jego analiza (średnie w pięciu klasach dojrzałości) wykazała, że w terminie „chłodnia-1” klasy dojrzałości różniły się jędrnością.



Rys. 3. Analiza czynników głównych (PCA) dla pomiarów jędrności jabłek z 33 odmian. Wykres rozrzutu trzech ładunków czynnikowych PC1, PC2 i PC3 - obrót przestrzeni podstawowych zmiennych w kierunku maksymalizacji wariancji (varimax-normalizowana). Zakresowano obszar wartości mniejszych od $\pm 0,6$

Fig. 3. Principal component analysis (PCA) of the firmness data for 33 apple-varieties. Scatter plot of three factor loadings for the principal components PC1, PC2 and PC3 - rotation of the original variable space with a tendency towards variance maximization (varimax normalized). The crossed area for the values lower than $\pm 0,6$



Rys. 4. Skategoryzowany według terminów i dojrzałości – wykres rozrzutu wartości trzech czynników głównych z jędrności - PC1, PC2 i PC3 wyjaśnia strukturę jędrności w 3 procesach przechowalniczych jabłek

Fig. 4. Scatter plot of the three factors estimated - scores of PC1, PC2 and PC3 from the PCA model with firmness data, categorized according to ripeness terms and stages – the goal of such an analysis is to detect and interpret apple firmness structure in 3 storage processes

Aby ocenić stopień zróżnicowania jędrności po przechowywaniu (przy wprowadzonej kategoryzacji dojrzałością) obliczono metodą regresji prostoliniowej współczynnik nachylenia prostej aproksymującej dane: numery klas (od 1 do 5) i wartości parametru jędrność. Obliczony współczynnik nachylenia ocenia przeciętny przyrost jędrności przy przejściu o jedną klasę wybarwienia. Dla wartości czynnika PC1 (jabłka handlowe), w terminie „chłodnia-1” (rys. 4) otrzymano różny od zera współczynnik nachylenia równy 0,38 (mediany czynników jędrności w klasach dojrzałości różniły się istotnie).

Ten współczynnik nachylenia wyrażony jest w jednostkach odchylenia standardowego i opisuje przeciętną zmianę jędrności przy zmianie o jedną klasę dojrzałości. Jeżeli przyjmiemy pełny zakres zmian dojrzałości tj. o 4 klasy, to otrzymamy parametr, dla którego zaproponowano nazwę „wskaźnik zróżnicowania jędrności”. Otrzymano jego wartość $4 * 0,38 = 1,52$ odchylenia standardowego.

Można wyznaczyć wskaźnik zróżnicowania jędrności także w jednostkach siły [N]. W wynikach (tab. 1) odczytujemy odchylenie standardowe jędrności dla odmian z grupy PC1, u których stwierdzono istotne zróżnicowanie. Mnożąc wskaźnik zróżnicowania jędrności przez odchylenie standardowe, otrzymamy wskaźnik zróżnicowania w [N], związany teraz już ze skalą dynamometru np. odmianie STN odpowiada 7,7 N. Odwrotność współczynnika zróżnicowania (dla grupy PC1 wynosi 0,13) i opisuje wyrównanie jędrności.

DYSKUSJA

Wyrównanie jędrności

Wykorzystano materiał celowo silnie zróżnicowany odmianowo i stosowano różne, ale typowe warunki przechowywania owoców. Wprowadzono nowy układ eksperymentu przechowalniczego; przechowywanie do osiągnięcia stanu pełnej dojrzałości spożywczej i analizę wyników bardziej złożonymi metodami statystycznymi [3]. Pozwoliło to uzyskać więcej informacji i odpowiedzieć na stawiane pytania.

W sadownictwie znane jest określenie – wyrównanie owoców pod względem wielości ich cech np. kształtu i wielkości, wartości smakowej i użytkowej, trwałości przechowalniczej i wytrzymałości na transport [18]. Wyrównanie owoców jest cechą odmianową i w stosunkowo niewielkim stopniu zależy do zabiegów agrotechnicznych. Natomiast zmienność to cecha natury i występuje zarówno w ramach jednej odmiany, jak i jednego drzewa [21]. Wyrównanie poprzez rozsortowanie owoców na klasy wymiarowe (tzw. kalibracja) lub klasy

wybarwienia i dojrzałości jest operacją handlową stosowaną zwykle w terminie bliskim sprzedaży detalicznej [18].

Zdolność przechowalnicza to okres przechowywania od zdjęcia owoców z drzewa aż do wystąpienia oznak rozpadu mączystego i utrwalona jest ona genetycznie lecz wpływają na nią np. warunki uprawy, termin zbioru, warunki przechowywania – one modyfikują jędrność owoców [18,21].

Odmianę należy zatem określać na podstawie kilku owoców o najczęściej występującej wielkości i kształcie [21]. Natomiast sadownik-producent planując scharakteryzowanie swojego, przez kilka miesięcy przechowywanego plonu, musi użyć większej liczby owoców. Stwierdzono w trakcie badań, że można uzyskać więcej informacji o jego kondycji, gdy utworzy się podczas zbioru klasy wybarwienia i pomiędzy tymi klasami wybarwienia wyznaczy zróżnicowanie jędrności. Procedura taka wprowadza do pomiarów jędrności element samoskalowania (autokalibracja).

Stosując analizę czynnikową efektywnie zredukowano liczbę badanych zmiennych. Utworzono trzy grupy z chłodniczych próbek odmianowych, w których to grupach, jędrność scharakteryzowano w podobny sposób. Poprawiła się precyzja wnioskowania i reprezentatywność badań przechowalniczych. Wprowadzono także dla każdej próby odmianowej ocenę wskazującą na stopień jej zgodności z modelem (3 grupy), który utworzył profil zmian jędrności podczas przechowywania.

Praca nie upoważnia do scharakteryzowania zbadanych odmian, lecz w sezonie chłodniczym wyłoniono grupę odmian PC1, w której dość łatwo zachowano dojrzałość handlową i dwie grupy odmian, w których owoce osiągnęły już wyrównanie jędrności.

W pracach badawczych zakłada się, że ocena jędrności próby chłodniczej powinna być porównana z ocenami odmian wzorcowych. Teraz można zaproponować, żeby były to odmiany wyłonione obiektywnie w procesie przechowywania i stanowiące główne elementy np. trzech czynników (składowych). Taki wybór sprawi, że fizyczna skala jędrności uzyska lepsze odniesienie do ocen organoleptycznych [10], a to ułatwi interpretację wyrównania właściwości jabłek.

Okres przechowywania i optymalna jędrność

Po przechowywaniu generalnie wyższa była jędrność w najwcześniejszym terminie i u owoców z chłodni. Najczęściej różniły się jędrnością tylko krańcowe klasy wybarwienia, ale dotyczyło to owoców oznaczanych jako o „dojrzałości handlowej”. Więcej prób, oznaczanych jako jabłka „konsumpcyjne” i „bazarowe”, uzyskało w klasach wyrównane wartości jędrności. Wskazane cechy prób uzasadniają nadanie właściwych im nazw i nazw dla czynników głównych.

Wyniki badań ISK określają optymalną jędrność jabłek odmian Jonagold, Elstar i Gloster, która zawiera się w przedziale 50-60 N przy średnicy przebijaka 11 mm i jest to jędrność jabłek w stadium dojrzałości konsumpcyjnej – czyli w domu [19]. Pomimo różnic pomiędzy odmianami, lecz dla owoców konsumpcyjnych, nawet te o zwartym miąższu i postrzegane w ocenach jako twarde, powinny mieć podobną jędrność. Dla mniej twardych, jak Lobo czy Mc Intosh, optymalna jędrność jest niższa, lecz nie towarzyszy temu rozpad mączysty [9] i nie powinna ona osiągnąć 50 N, gdyż różnice 10 N są już rozróżnialne organoleptycznie [10].

W pracy stwierdzono, że obliczenie przeciętnej jędrności próby, a nie w klasach wybarwienia, znacznie zubaża informację o przechowywanych owocach. Takie parametry mogą być jedynie przydatne w pracach normalizacyjnych. Prowadząc analizę ANOVA, nie korzystając z metody składowych głównych, nie uda się ocenić wpływu dojrzałości, a także terminów i współdziałania na próbach wielo-odmianowych. Zwłaszcza trudno wyodrębnić grupy odmian, u których zmienność jędrności wykazuje odmienne, lecz specyficzne cechy związane z przechowywaniem. Natomiast czynniki główne są kombinacją wszystkich zmiennych wyjściowych i wnoszą więcej informacji.

Wskaźnik zróżnicowania jędrności

Wprowadzono wskaźnik zróżnicowania jędrności w przechowywaniu. Stwierdzono, że gdy jest on istotny (tzn. różny od zera) można owoce nadal przechowywać lub traktować jak handlowe.

Ponieważ rozkład parametru jędrności, jest prawostronnie asymetryczny – do testowania i porównań wymagane jest staranne przygotowanie układu doświadczenia przechowalniczego, a także specyficzna obróbka statystyczna wyników. Dlatego w badaniach naukowych, zwykle tworzy się próbki jednorodne. Ogranicza się zmienność owoców i wtedy obserwuje zmiany w przechowywaniu. Często niedostępne są informacje, które wpływają na ogólną kondycję – atmosferę i stan mikro-biologiczny, i mogą zakłócać trwałość owoców. Natomiast sadownik dysponuje reprezentatywną strukturą dojrzałości – taką, jaka wystąpiła w chwili zbioru. Można się nią „posługiwać” oceniając towar w chłodni.

Zastosowana metoda badań właściwości mechanicznych jabłek z grupami wybarwienia ocenia ich naturalne cechy – zróżnicowanie jędrności po długim okresie przechowywania chłodniczego. W pracach nad nowymi wskaźnikami jakości może zastąpić odwołania do wyników testu Magness-Taylor'a [7,8,20].

Zmiany jędrności podczas przechowywania nie są liniowe w czasie [13,16, 24], aczkolwiek duże zróżnicowanie parametru w próbach chłodniczych niekiedy pozwala na takie przybliżenia. Stwierdzono, że jędrność nie ma rozkładu normalnego i jest nieliniowa w odniesieniu do organoleptycznej skali ocen [10]. Należało więc dostosowywać parametry opisujące jędrność do modelu jej zmian i w tym celu od dawna, wprowadzano podziały na charakterystyczne grupy odmian. Opis parametrami mechanicznymi jest niezrozumiały, gdy nie ma takich odniesień do wzorców odmianowych.

Standaryzacja jędrności

W trakcie pomiaru jędrnościomierzem (M-T ϕ 11 mm), gdy nie korzysta się z aparatury wytrzymałościowej, sadownik musi pokonać siłę odpowiadającą podnoszeniu odważnika 5-6 kilogramowego, a to dopiero środek skali pomiarowej, która sięga do 120 N. Zakres sił jędrnościomierza przejęty został przez tradycję jego stosowania w USA od roku 1925 i jędrnościomierz ułatwiał wyznaczenie terminu zbioru. Wtedy dokładnym dynamometrem w gospodarstwie była sprężynowa waga kuchenna i na niej można było ustawić przebijak [7]. Przebijak o mniejszej średnicy – 8 mm, zastosowany w tej pracy do jabłek, wprowadzony został, gdy dostosowano jędrnościomierz do twardszych owoców gruszy. Porównując jędrność różnych owoców i warzyw wybiera się zwykle mniejszą średnicę przebijaka [7,8,13,14]. Od lat nie zmieniła się istota pomiaru maksymalnej siły zagłębiania pręta w miąższ [2,16] lecz coraz intensywniej bada się owoce dojrzewające w chłodni.

Ani złożona krzywizna powierzchni jabłka, ani niejednorodności struktury miąższu – co w przypadku materiałów granularnych pogarsza powtarzalność pomiaru np. zwięzłości, nie wnoszą zakłóceń, jeżeli stosuje się mniejszą średnicę przebijaka [2,4,7,16]. Niższe wartości siły są bardziej zgodne z fizjologią pracy ramienia człowieka i powinny ułatwić wykonanie pomiarów z większą starannością. Stwierdzono, że nie ma też przeszkód technicznych w wykonaniu jędrnościomierza o dokładniejszej skali pomiarowej [16].

Prace Bourne'a [2] wykazały, że nie można porównać właściwości mechanicznych materiałów roślinnych posługując się różnymi średnicami przebijaków gdyż nie ma dokładnego wzoru do przeliczeń. Nie oznacza to wcale, że ta dokładność uniemożliwia oszacowanie przedziałów optymalnej jędrności dla odmian [16], zwłaszcza, gdy znane są wyniki pomiaru różnymi przebijakami na kilku odmianach [2,4,8,19,20,23].

Gdy jędrność jest oceną właściwości mechanicznych to skala wymaga bezwzględnego zera - jest to pomiar fizyczny tzw. „stałej materiałowej”. Taką ocenę wykonuje konstruktor lub „mechanizator rolnictwa”. W przechowalnictwie wyniki uzyskane dla odmian są ciągle inne, gdyż pomiary te są jeszcze dokładniejsze. Kontroluje się parametry kinetyki populacji, która w sposób szczególny może być zmienna, a zmiany te nie zależą od „skali pomiarowej”. Tutaj nie wartości bezwzględne określają jakość lecz współzależność licznych parametrów kształtujących kinetykę zmian przechowalniczych [16,17,25].

WNIOSKI

1. Podstawą operacji pomiaru jędrności w przechowalnictwie jest identyfikacja różnic pomiędzy istotnymi zbiorami pomiarów, a zero w tej skali ustalone jest dowolnie.
2. Zaproponowany „wskaźnik zróżnicowania jędrności” owoców przechowywanych, jest niezależny od jednostek skali jędrności i pozwala ocenić kondycję owoców handlowych.
3. Model doświadczenia przechowalniczego z grupami wybarwienia i model składowych głównych mogą być przydatne w pracach badawczych, zwłaszcza nad nowymi wskaźnikami jakości.
4. Parametrami statystycznymi opisującymi jędrność przechowywanych jabłek i przydatnymi w pracach normalizacyjnych, powinna być mediana, kwartyle i rozstęp międzykwartyłowy.

Do pracy badawczej wkład wniósł Śp. mgr inż. F. Baran, wieloletni pracownik Sadowniczego Zakładu Doświadczalnego w Albigowej, woj. Podkarpackie.

PIŚMIENNICTWO

1. **Abbott J. A.:** Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 207-225, 1999.
2. **Bourne M. C.:** Measure of shear and compression components of puncture test. *J. Food Sci.*, 31, 282-291, 1966.
3. **Dąbkowski J.:** O problemie redukcji wymiarów. *Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej*, Kraków, 2000.
4. **Dobrzański B. j., Rybczyński R., Gołacki K.:** Quality parameter of storage apple as a firmness. *International Agrophysics*. 14, 149-158, 2000,
5. **Drozdowicz M.:** *Przechowalnictwo owoców* Polskie Wydawnictwa Gospodarcze, Warszawa, 1957.
6. **Drozdowicz M.:** *Technologia przechowywania i uszlachetniania owoców i warzyw*. [praca zbiorowa]. Zakład Wydawnictw CRS, Warszawa, 1976.

7. **Duprat F., Grotte M. G., Pietri E.:** A multi-purpose firmness tester for fruits and vegetables. *Computers and Electronics in Agriculture*, 12(3), 211-223, 1995.
8. **Harker F. R., Stec M. G. H., Hallett I. C.:** Texture of parenchymatous plant tissue: a comparison between tensile and other instrumental and sensory measurements of tissue strength and juiciness. *Postharvest Biology and Technology*, 11(2), 63-72, 1997.
9. **Harker F. R., Gunson A. F., Brookfield P. L.:** An apple a day: the influence of memory on consumer judgment of quality. *Food Quality and Preference*, 13(3), 173-179, 2002.
10. **Harker F. R., Maindonald J., Murray S. H.:** Sensory interpretation of instrumental measurements 1: texture of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 24(3), 225-239, 2002.
11. **Herregods M.:** Jak ograniczyć straty podczas przechowywania. *Materiały Konferencyjne "Nowe technologie i techniki przechowywania owoców"*, Skierniewice, 1-7, 1994.
12. **Konopacka D.:** Czy dotrze do Polski zachodnia moda? - Kruchość jabłek. *Hasło Ogrodnicze*, 7, 2001.
13. **Kuczyński A. P.:** Maturity vs. puncture force in predicting the varietal differences of strawberry fruits. *Zeszyty problemowe postępów nauk rolniczych*, 1985, 304, 131-138.
14. **Kuczyński A. P., Bzowska-Bakalarz M.:** Sugar beet root tissue modulus of elasticity. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 321, 97-104, 1987.
15. **Kuczyński A. P., Bzowska-Bakalarz M.:** A method for the investigation of the mechanical properties of sugar beet roots with the help of ultrasonic wave. *Zeszyty problemowe postępów nauk rolniczych*, 351, 77-83, 1988.
16. **Kuczyński A. P.:** Metodyczne aspekty oceny podstawowych cech fizycznych owoców truskawki. *Praca doktorska – Wydz. Ogrodniczy AR Lublin*, 1990.
17. **Kuczyński A. P.:** Application of physical data to quality control of minimally processed apples. *Elsevier Science, (J. D., Control Applications in Post-Harvest and Processing Technology)*, 1995.
18. **Lange E., Ostrowski W.:** *Przechowalnictwo owoców*. Wyd. 2, PWRiL, Warszawa, 1992.
19. **Plocharski W. J., Konopacka D.:** The relation between mechanical and sensory parameters of apples. *Acta Horticulture*, 485, 309-318, 1999.
20. **Plocharski W. J., Konopacka D., Zwierz J.:** Comparison of Magness-Taylor's pressure test with mechanical, non-destructive methods of apples and pears firmness measurements. *Int. Agrophysics*, 14, 311-318, 2000.
21. **Rejman A.:** *Pomologia*. PWRiL, Warszawa, 1994.
22. **Rutkowski K., Konopacka D.:** Jędrność jabłek. *Cz. . Hasło Ogrodnicze*, 4, 2001.
23. **Rybczyński R., Dobrzański B., jr.:** Mechanical resistance of apple in different place of fruit. *Int. Agrophysics*, 8, 455-459, 1994.
24. **Rybczyński R., Dobrzański B., jr.:** Fizyczne aspekty pomiaru jędrności jabłek. *Acta Agrophysica*, 69, 2002.
25. **STATISTICA for Windows (Computer program manual)**. Version 5.5. Stat. Soft, Inc., 2000.

FIRMNESS ESTIMATION OF STORED APPLES AFTER APPLICATION
OF A STATISTICAL METHOD (PCA)
FOR THE REDUCTION OF MODEL DIMENSIONS

Adam Paweł Kuczyński

Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul. Doświadczalna 4, 20-290 Lublin
e-mail: akucyski@demeter.ipan.lublin.pl

Abstract. A Magnes-Taylor ϕ 8 mm apple firmness test was carried out, i.e.: 33 cultivars were cold-stored and natural differentiation in ripeness and firmness was retained for a period of several months from the fruit harvest. A statistical firmness distribution of the cold-stored sample showed a strong right-handed asymmetry and frequently also a positive excess. It means that both testing and firmness comparisons require a careful preparation of the cold-storage test as well as a specific statistical analysis of the results. Mean values of the firmness parameter do not characterize stored apples sufficiently well. Hence medians and quartiles should be used for their characterization. The present study showed a possibility for the apple ripeness determination in a cold-storage test by means of firmness variation measurements carried out on five fruit colouration classes determined during fruit harvest. Factor analysis simplified the storage description of firmness changes in many apple cultivars. It introduced three factors and indicated cultivar groups in which similar changes in firmness took in the process of storage.

Key words: cultivars; ripeness; quality, method, storage