

УДК 635.67:641.528

Колтунов В. А.,

д.с-г.н., проф. кафедри товарознавства та експертизи продовольчих товарів, Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ

Шаповал С. Л.,

к.т.н., доц. кафедри інженерно-технічних дисциплін, Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ

Коваль А. В.,

аспірант, Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ

## ФІЗИЧНІ, ТЕПЛОФІЗИЧНІ ПОКАЗНИКИ КУКУРУДЗИ ЦУКРОВОЇ ТА ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗНИЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ КАЧАНІВ ПРИ ОХОЛОДЖЕННІ ТА ЗАМОРОЖУВАННІ

*Анотація.* У роботі наведені результати експериментальних досліджень інтенсивності зниження температури в качанах кукурудзи цукрової при їх охолодженні та заморожуванні. На основі отриманих результатів розраховано інтенсивність зниження температури, відсоток усуненого тепла та теплоємність. Дослідження фізичних та теплофізичних властивостей качанів кукурудзи цукрової проводили за методичними вказівками, висвітленими в роботах А. С. Гінзбурга, М. А. Громова, В. З. Жадана, В. А. Колтунова. Дослідження здійснювалися на качанах кукурудзи цукрової Кокані F1 у молочній (технічній) стадії стиглості першої зав'язі.

**Ключові слова:** кукурудза цукрова, ентальпія, істинна густина, фізична густина, пористість, шпаруватість.

Koltunov V. A.,

Doctor of Agriculture, Professor, Professor of the Department of Commodity Research and Expertise of Food Products, Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv

Shapoval S. L.,

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Engineering and Technical Disciplines, Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv

Koval A. V.,

Postgraduate, Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv

## PHYSICAL , THERMOPHYSICAL PARAMETERS OF SWEETCORN AND INTENSITY OF TEMPERATURE REDUCTION OF COBS UPON COOLING AND FREEZING

*Abstract.* The article provides the results of experimental research of intensity of temperature reduction in the cobs of sweetcorn upon their cooling and freezing. Based on the received results the intensity of the temperature reduction is calculated, as well as the percentage of eliminated heat and content of heat. Investigation of physical and thermophysical properties of sweetcorn cobs were conducted by methodological guidelines highlighted in the works of A. S. Ginzburg, M. A. Gromov, V. Z. Zhadan, V. A. Koltunov. The research was conducted on the cobs of Kokani F1 sweetcorn in milky (technical) stage of ripeness of first ovary.

**Keywords:** sweetcorn, enthalpy, true density, physical density, porosity, aperture.

**Постановка проблеми.** Основним завданням держави є забезпечення населення високоякісними продуктами харчування згідно з їх фізіологічними нормами споживання. Дане завдання вимагає комплексного підходу до проблеми збільшення виробництва сільськогосподарської продукції й скорочення її витрат на всіх етапах її товароруху. Знизити кількісні та якісні витрати при зберіганні важливо, як і досягти підвищення виробництва продукції.

При оцінці якості харчових продуктів визначають їх хімічний склад, фізичні та фізико-хімічні властивості. Формування всіх перелічених складових починається з селекційного процесу та насінництва, продовжується у відповідних абіотичних умовах із застосуванням технологій вирощування та збирання продукції високої якості, яку слід зберігати на всьому наступному шляху її просування до споживача.

Отже, виведення сорту, його вирощування і зберігання врожаю, реалізацію і доведення до споживача слід розглядати як єдиний технологічний процес, що не поділяється на головні та другорядні ланки.

Якісні показники не можна оцінювати без оцінки фізичних, біологічних та біохімічних властивостей продукції, які треба розглядати без відриву від оточуючого середовища і факторів, що на нього впливають.

Якість харчових продуктів, у тому числі кукурудзи цукрової, знаходиться у нерозривному зв'язку з їх будовою і хімічним складом. Важливими показниками якості, збереженості й транспортабельності харчових продуктів є їх фізичні властивості. До фізичних властивостей плодоовочевої сировини відносять масу, об'ємну масу, форму, висоту, діаметр, фізичну та істинну густину, пористість, шпаруватість, міцність шкірки і м'якоти, структурно-механічні властивості. До теплофізичних показників – теплоємність, тепловміст, теплопровідність, температуропровідність, які пов'язані зі структурою харчових продуктів. Важливими складовими є також оптичні, акустичні та електричні властивості, а у деяких випадках – сорбційна ємність і гігроскопічність. Всі ці показники необхідні для проектування сховищ, правильного складування, науково обґрунтованих методів зберігання; в цьому плані качани кукурудзи цукрової ніхто не вивчав.

Вивчення процесу зниження температури качанів, різних за масою та розмірами, які знаходяться у загальній масі й мають різні показники інтенсивності дихання та тепловиділення, дозволить удосконалити технологічні процеси їх заморожування, складування, тривалого зберігання та поступової реалізації [14].

Тому в зв'язку зі зростаючими потребами споживання кукурудзи цукрової дослідження фізичних і теплофізичних властивостей качанів є актуальним. Також актуальними є зміни тепловмісту в качанах у процесі охолодження і заморожування, які схильні до швидкого перезрівання і втрат харчової цінності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Серед способів та методів зберігання і консервування кукурудзи цукрової найчастіше використовують охолодження, зберігання в регульованому газовому середовищі й заморожування [11, 13].

Кукурудза цукрова, яка потрапляє на охолодження та заморожування, повинна бути солодкою, соковитою, з ніжною консистенцією та приємним смаком. Зібрані качани необхідно доставити в цехи не пізніше ніж за 6 годин після збирання, адже протягом 24 годин вміст цукру в кукурудзі зменшується на 50 % [10, 11, 13], що неможливо виконати в умовах існуючої матеріально-технічної бази і реалізувати весь вирощений врожай, зокрема в умовах півдня за 1-2 доби. Качани кукурудзи цукрової достатньо не вивчені як об'єкт зберігання. В літературних джерелах недостатньо інформації про фізичні та теплофізичні показники, які є важливим фактором при підтриманні оптимальних режимів зберігання, обґрунтуванні процесів синтезу і гідролізу в зернах.

**Постановка завдання.** Мета досліджень – визначення фізичних та теплофізичних властивостей качанів кукурудзи цукрової, швидкість і досягнення ними оптимальної температури при охолодженні та заморожуванні.

Завдання дослідження полягає у визначенні фізичних та теплофізичних показників інтенсивності зниження температури залежно від температури оточуючого середовища у качанів кукурудзи цукрової залежно від їх маси та діаметра.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для дослідів брали качани кукурудзи цукрової Кокані F1 у молочній (технічній) стадії стиглості першої зав'язі, одного строку дозрівання і збирання, вирощених у фермерському господарстві Вінницької області.

Для визначення швидкості зниження температури проводилося по три досліди. Дослідження теплофізичних характеристик відбувалися у двокамерному холодильнику марки WHIRLPOOLBSNF 9782 OX, із функцією Active0. У відділенні, де здійснювалося охолодження, температура становила 0°C, заморожування відбувалося при -25°C. Температура контролювалася за допомогою ртутного термометра. Реєстрація зниження температури фіксувалася кожні 3 хвилини, вибірка становила інтервал у 30 хвилин.

Інтенсивність зниження температури в качанах кукурудзи цукрової вимірювали за допомогою універсального комп'ютерного вимірювального приладу. Вид кліматичного виконання ММ-лабораторій УХЛ, категорія розміщення 4 по ДОСТ 15150 для діапазону температур від 0°C до 40°C при відносній вологості 80% при 25°C.

Вміст загальної сухої речовини визначали методом висушування до постійної маси за ДСТУ ISO 2173:2007 [12].

Дослідження масово-розмірних показників проводили за допомогою ваг по ГОСТ 29329 середнього класу точності з найбільшою межею зважування не більше 3 кг, з ціною повірочної поділки у <math>\leq 2</math> г та штангенциркуля 1-го класу точності за ГОСТ 166-89 з похибкою вимірювання 0,05-0,10 мм.

Дослідження фізичних та теплофізичних властивостей качанів кукурудзи цукрової проводили за методичними вказівками, висвітленими в роботах А. С. Гінзбурга, М. А. Громова [1], В. З. Жадана [3], В. А. Колтунова [8, 4, 5].

Фізичну густину визначали шляхом поміщення наважки зразка у градуйований скляний посуд. Знаючи рівень рідини в посуді до і після поміщення в нього зразка, встановлювали його об'єм, а зважуванням – його масу. Фізичну густину зразка розраховували за формулою [1]:

$$\rho_{\phi} = \frac{m_0}{V_1 - V_2}, \text{ (кг/м}^3\text{)} \quad (1)$$

де  $m_0$  – маса зразка, кг, г;  $V_1$  – об'єм рідини, м<sup>3</sup>,  $V_2$  – об'єм зразка в рідині, м<sup>3</sup>.

Істинна густина – це густина продукту, в якому відсутні газові вclusions, тобто пористість дорівнює 0, її розраховували за формулою [5]:

$$\rho_c = 267000 / 267 - n_c, \text{ (кг/м}^3\text{)} \quad (2)$$

де  $n_c$  – вміст сухої речовини, %.

Шпаруватість – це відношення сумарного об'єму незаповнених зразком шпарин до загального об'єму насипу, який визначається за формулою [1]:

$$\varepsilon = \rho \frac{\rho_{\phi} - \rho_n}{\rho_{\phi}} \times 100, \text{ (\%)} \quad (3)$$

де  $\rho_{\phi}$  – фізична густина кукурудзи цукрової (кг/м<sup>3</sup>);  $\rho_n$  – об'ємна маса (кг/м<sup>3</sup>).

Між пористістю, істинною та фізичною густиною існує така залежність [5]:

$$\Pi = \frac{\rho_c - \rho_{\phi}}{\rho_c} \times 100 = \left(1 - \frac{\rho_{\phi}}{\rho_c}\right) \times 100, (\%) \quad (4)$$

де  $\Pi$  – пористість, %;  $\rho_{\phi}$  – фізична густина (кг/м<sup>3</sup>);

$\rho_c$  – істинна густина (кг/м<sup>3</sup>).

Для розрахунку об'ємної маси качани кукурудзи цукрової поміщували в мірник з відповідним об'ємом 1 м<sup>3</sup> (ящик перетином 1 м<sup>2</sup> і висотою 1 м), повністю заповнювали його і зважували. Об'ємну масу розраховували за формулою [1]:

$$\rho_n = m_{M.O} - m_M / V_M \quad (\text{кг/м}^3) \quad (5)$$

де  $m_{M.O}$  – маса мірника з качанами кукурудзи цукрової, кг;  $m_M$  – маса мірника, кг;  $V_M$  – об'єм мірника, м<sup>3</sup>.

Теплоємність (C) визначали за формулою [3]:

$$C = 4,19 - 0,028 n_c, \quad (\text{кДж/кг} \times ^\circ\text{C}) \quad (6)$$

де 4,19 – питома теплоємність (кДж/кг<sup>3</sup>); 0,028 – постійний коефіцієнт;

$n_c$  – вміст сухої речовини у зернятках качана, %

Коефіцієнт теплопровідності розраховували за формулою [5]:

$$\lambda = \frac{\rho_{\phi}}{\rho_c} (0,57 - 0,004 n_c) + \left(1 - \frac{\rho_{\phi}}{\rho_c}\right), \quad (\text{Вт/м} \times ^\circ\text{C}) \quad (7)$$

де  $\rho_{\phi}$  – фізична густина качанів кукурудзи цукрової (кг/м<sup>3</sup>);  $\rho_c$  – істинна густина качанів кукурудзи цукрової (кг/м<sup>3</sup>);  $n_c$  – вміст сухих речовин, %.

Коефіцієнт температуропровідності визначали за формулою [5]:

$$\alpha = \lambda / c \times \rho_{\phi}, \quad (\text{м}^2 / ^\circ\text{C}) \quad (8)$$

де  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м<sup>3</sup>;  
 $c$  – питома теплоємність, кДж/кг<sup>3</sup>;  
 $\rho_{\phi}$  – фізична густина, кг/м<sup>3</sup>.

Ентальпію (I) розраховували за формулою [7]:

$$I = C \times \Delta t \times m, \quad (9)$$

де  $C$  – питома теплоємність, кДж/т<sup>3</sup>;  $m$  – маса продукту, кг;

$\Delta t$  – різниця температур продукту до і після його охолодження, <sup>3</sup>С.

**Результати досліджень.** Усі дослідження проводилися в один день протягом 24 годин, як передбачено РСТ УСССР 297-91 [9]. Качани до відповідних операцій із ними зберігались у холодильнику при температурі 10-15<sup>3</sup>С, для попереднього охолодження.

За результатами досліджень нами встановлені наступні фізичні та теплофізичні показники качанів кукурудзи цукрової (табл. 1).

Охолоджують харчові продукти у холодильниках до температури, близької до їх криоскопічної, але не нижче. Кінцева температура охолодження відіграє важливу роль у збереженні споживних властивостей кукурудзи цукрової й становить 0...1<sup>3</sup>С [15].

Швидкість видалення тепла і кінцева температура охолоджуваних, у нашому випадку качанів кукурудзи цукрової, є визначальними для успішного їх холодильного зберігання. Великою мірою якість охолоджуваних продуктів і в подальшому успіх їх зберігання залежать також і від швидкості охолодження. При недостатніх темпах зниження температури продукту інтенсивність руйнівних мікробіологічних і ферментативних процесів може випереджати процес охолодження. І тоді перш ніж продукт охолоне до потрібної кінцевої температури в ньому можуть відбутися небажані зміни. Характер цих змін залежить від багатьох факторів, і перш за все від виду продукту і його вихідного стану [6].

Результати дослідження інтенсивності зниження температури до 0<sup>3</sup>С в качанах кукурудзи цукрової наведені в табл. 2. Згідно з нашими розрахунками на початку дослідження перший качан містив 18,51 кДж/кг<sup>3</sup> тепла, другий – 19,60 кДж/кг<sup>3</sup> і третій – 17,79 кДж/кг<sup>3</sup>С. Залишкове тепло у першого качана становить 14,27 кДж/кг<sup>3</sup>С, у другого – 16,77 кДж/кг<sup>3</sup>С, третього – 15,52 кДж/кг<sup>3</sup>С. Усушення більшої кількості тепла, ніж було в качанах, пояснюється утворенням його в процесі дихання. За період проведення досліду перший качан виділив 20,12 кДж/кг<sup>3</sup>С тепла, другий – 22,03 кДж/кг<sup>3</sup>С, а третій – 19,45 кДж/кг<sup>3</sup>С.

Маючи дані показники, можемо розрахувати, що при охолодженні 1 тонни кукурудзи цукрової у середньому слід видалити 18663 кДж/кг<sup>3</sup>С теплоти, а при охолодженні 500 тонн – 9331500 кДж/т<sup>3</sup>С. Кількість виділеного тепла дозволить спланувати режим роботи вентиляторів по виділенню його зі сховища.

Заморожування харчових продуктів – це процес повного або часткового перетворення в лід вологи, яка в них міститься, внаслідок відведення тепла при пониженні температури нижче криоскопічної. При льодоутворенні дифузійне переміщення розчинених у воді речовин припиняється, а отже, припиняється харчування мікроорганізмів і перебіг біохімічних реакцій. Результативний ефект перетворення води в лід подібний ефекту зневоднення. Вода з краплеподібного стану переходить у твердокристалічний [2].

Таблиця 1

**Фізичні та теплофізичні показники качанів кукурудзи цукрової**

Назва показника	Результат
Фізичні	
Фізична густина, кг/м <sup>3</sup>	916,67
Істинна густина, кг/м <sup>3</sup>	1090,33
Пористість, %	19,23
Об'ємна насипна маса, кг/м <sup>3</sup>	550,00
Шпаруватість, %	40,00
Теплофізичні	
Питома теплоємність, кДж/кг <sup>3</sup> С	3,57
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м <sup>3</sup> С	0,56
Коефіцієнт температуропровідності, м <sup>2</sup> /с	0,00017

Таблиця 2

## Швидкість охолодження качанів кукурудзи цукрової до температури 0°C

Час, хв.	Температура, °C			Інтенсивність зниження температури, °C			% усуненого тепла від попереднього значення			Ентальпія, кДж/кг*°C		
	1 качан	2 качан	3 качан	1 качан	2 качан	3 качан	1 качан	2 качан	3 качан	1 качан	2 качан	3 качан
0,00	13,09	14,92	14,20	-	-	-	-	-	-	18,51	19,60	17,79
30,00	9,55	9,49	9,26	3,54	5,43	4,94	27,04	36,39	34,79	5,00	7,13	6,19
60,00	7,44	6,90	6,80	2,11	2,59	2,46	22,09	27,29	26,57	2,98	3,40	3,08
90,00	5,75	5,18	4,97	1,69	1,72	1,83	22,72	24,93	26,91	2,39	2,26	2,29
120,00	4,57	4,07	3,85	1,18	1,11	1,12	20,52	21,43	22,54	1,67	1,46	1,40
150,00	3,96	3,59	3,32	0,61	0,48	0,53	13,35	11,79	13,77	0,86	0,63	0,66
180,00	3,28	2,58	2,61	0,68	1,01	0,71	17,17	28,13	21,39	0,96	1,33	0,89
210,00	2,86	2,34	2,22	0,42	0,24	0,39	12,80	9,30	14,94	0,59	0,32	0,49
240,00	2,86	2,46	2,27	0,00	0,12	0,05	0,00	5,13	2,25	0,00	0,16	0,06
270,00	3,45	3,28	2,89	0,59	0,82	0,62	20,63	33,33	27,31	0,83	1,08	0,78
300,00	3,07	2,42	2,46	0,38	0,86	0,43	11,01	26,22	14,88	0,54	1,13	0,54
330,00	2,48	2,17	1,99	0,59	0,25	0,47	19,22	10,33	19,11	0,83	0,33	0,59
360,00	2,45	0,37	1,26	0,03	1,80	0,73	1,21	82,95	36,68	0,04	2,36	0,91
390,00	1,60	0,15	0,15	0,85	0,22	1,11	34,69	59,46	88,10	1,20	0,29	1,39
420,00	0,58	0,08	0,02	1,02	0,07	0,13	63,75	46,67	86,67	1,44	0,09	0,16
450,00	0,45	0,03	-	0,13	0,05	-	22,41	62,50	-	0,18	0,07	-
480,00	0,04	-	-	0,41	-	-	91,11	-	-	0,58	-	-

## Швидкість заморожування качанів кукурудзи цукрової до температури мінус 13°C

Час, хв.	Температура, °C			Інтенсивність зниження температури, °C			% усуненого тепла від попереднього значення			Ентальпія, кДж/кг*°C		
	1 качан	2 качан	3 качан	1 качан	2 качан	3 качан	1 качан	2 качан	3 качан	1 качан	2 качан	3 качан
0,00	15,93	15,51	15,47	-	-	-	-	-	-	25,14	21,54	18,23
30,00	4,01	0,20	0,72	11,92	15,31	14,75	74,83	98,71	95,35	18,81	21,26	17,38
60,00	-3,22	-5,19	-3,89	7,23	5,39	4,61	180,30	2695,00	640,28	11,41	7,49	5,43
90,00	-4,63	-5,97	-5,39	1,41	0,78	1,50	43,79	15,03	38,56	2,22	1,08	1,77
120,00	-4,78	-5,88	-5,33	0,15	0,09	0,06	3,24	1,51	1,11	0,24	0,12	0,07
150,00	-4,56	-5,85	-5,94	0,22	0,03	0,61	4,60	0,51	11,44	0,35	0,04	0,72
180,00	-4,39	-5,67	-6,09	0,17	0,18	0,15	3,73	3,08	2,53	0,27	0,25	0,18
210,00	-4,58	-6,14	-6,13	0,19	0,47	0,04	4,33	8,29	0,66	0,30	0,65	0,05
240,00	-4,92	-6,83	-6,55	0,34	0,69	0,42	7,42	11,24	6,85	0,54	0,96	0,49
270,00	-5,41	-7,32	-7,33	0,49	0,49	0,78	9,96	7,17	11,91	0,77	0,68	0,92
300,00	-6,16	-7,71	-7,93	0,75	0,39	0,60	13,86	5,33	8,19	1,18	0,54	0,71
330,00	-6,80	-8,07	-8,23	0,64	0,36	0,30	10,39	4,67	3,78	1,01	0,50	0,35
360,00	-7,12	-7,76	-9,27	0,32	0,31	1,04	4,71	3,84	12,64	0,50	0,43	1,23
390,00	-8,99	-9,91	-11,65	1,87	2,15	2,38	26,26	27,71	25,67	2,95	2,99	2,80
420,00	-9,90	-10,50	-12,66	0,91	0,59	1,01	10,12	5,95	8,67	1,44	0,82	1,19
450,00	-10,80	-11,51	-	0,90	1,01	-	9,09	9,62	-	1,42	1,40	-
480,00	-11,35	-12,56	-	0,55	1,05	-	5,09	9,12	-	0,87	1,46	-
510,00	-11,97	-	-	0,62	-	-	5,46	-	-	0,98	-	-
540,00	-12,56	-	-	0,59	-	-	4,93	-	-	0,93	-	-

Таблиця 4

## Швидкість заморожування качанів кукурудзи цукрової до температури мінус 25°C

Час, хв.	Температура, °С			Інтенсивність зниження температури, °С			% усуненого тепла від попереднього значення			Ентальпія, кДж/кг*°С					
	1 качан	2 качан	3 качан	1 качан	2 качан	3 качан	1 качан	2 качан	3 качан	1 качан	2 качан	3 качан			
0,00	23,6	26,5	26,3	-	-	-	9,70	11,70	17,20	41,10	44,15	65,40	34,54	30,75	31,08
30,00	13,9	14,8	9,1	9,70	11,70	17,20	10,30	9,90	4,70	74,10	66,89	51,65	14,20	13,57	20,32
60,00	3,6	4,9	4,4	10,30	9,90	4,70	3,50	4,50	1,20	97,22	91,84	27,27	15,08	11,49	5,55
90,00	0,1	0,4	3,2	3,50	4,50	1,20	0,80	0,30	2,70	800,00	75,00	84,38	5,12	5,22	1,42
120,00	-0,7	0,1	0,5	0,80	0,30	2,70	0,40	0,20	1,20	57,14	200,00	240,00	1,17	0,35	3,19
150,00	-1,1	-0,1	-0,7	0,40	0,20	1,20	0,20	0,10	2,60	18,18	100,00	371,43	0,59	0,23	1,42
180,00	-1,3	-0,2	-3,3	0,20	0,10	2,60	0,30	0,70	8,70	23,08	350,00	263,64	0,29	0,12	3,07
210,00	-1,6	-0,9	-12	0,30	0,70	8,70	0,70	0,20	3,00	43,75	22,22	25,00	0,44	0,81	10,28
240,00	-2,3	-1,1	-15	0,70	0,20	3,00	1,50	0,70	3,60	65,22	63,64	24,00	1,02	0,23	3,55
270,00	-3,8	-1,8	-18,6	2,20	1,80	4,40	2,20	1,80	4,40	57,89	100,00	23,66	2,20	0,81	4,25
300,00	-6	-3,6	-23	3,20	3,30	2,00	3,20	3,30	2,00	53,33	91,67	8,70	3,22	2,09	5,20
330,00	-9,2	-6,9	-25	4,90	5,20	-	4,90	5,20	-	53,26	75,36	-	4,68	3,83	2,36
360,00	-14,1	-12,1	-	3,40	5,30	-	3,40	5,30	-	24,11	43,80	-	7,17	6,03	-
390,00	-17,5	-17,4	-	2,20	3,60	-	2,20	3,60	-	12,57	20,69	-	4,98	6,15	-
420,00	-19,7	-21	-	1,30	1,00	-	1,30	1,00	-	6,60	4,76	-	3,22	4,18	-
450,00	-21	-22	-	1,00	1,00	-	1,00	1,00	-	4,76	4,55	-	1,90	1,16	-
480,00	-22	-23	-	1,00	1,00	-	1,00	1,00	-	4,55	4,35	-	1,46	1,16	-
510,00	-23	-24	-	0,30	0,00	-	0,30	0,00	-	1,30	0,00	-	1,46	1,16	-
540,00	-23,3	-24	-	0,70	1,00	-	0,70	1,00	-	3,00	4,17	-	0,44	0,00	-
570,00	-24	-25	-	0,50	-	-	0,50	-	-	2,08	-	-	1,02	1,16	-
600,00	-24,5	-	-	0,50	-	-	0,50	-	-	2,04	-	-	0,73	-	-
630,00	-25	-	-	0,50	-	-	0,50	-	-	2,04	-	-	0,73	-	-

Результати дослідження інтенсивності зниження температури до мінус 13 та 25°C в качанах кукурудзи цукрової наведені в табл. 3 та 4.

Згідно з табл. 3 перший качан містив 25,14 кДж/кг°C тепла, другий – 21,54 кДж/кг°C і третій – 18,23 кДж/кг°C. За період проведення досліду перший качан виділив 49,19 кДж/кг°C тепла, другий – 40,67 кДж/кг°C, а третій – 33,29 кДж/кг°C.

За нашими розрахунками, при зниженні температури, у качанах кукурудзи цукрової до мінус 25 °C на початку дослідження перший качан містив 34,54 кДж/кг°C тепла, другий – 30,75 кДж/кг°C і третій – 31,08 кДж/кг°C. За період проведення досліду 1 качан виділив 71,14 кДж/кг°C тепла, другий – 59,75 кДж/кг°C, а третій – 60,62 кДж/кг°C. Звідси випливає, що для замороження 1 тонни кукурудзи слід видалити 63836,67 кДж/кг°C теплоти.

Фізичні параметри (маса, діаметр, об'єм) качанів кукурудзи цукрової наведено в табл. 5.

рахунок великої його кількості, а за рахунок малих цифр остаточного тепла.

При охолодженні качанів кукурудзи цукрової найбільше зниження температури у центрі плода спостерігається в перші дві години дослідження, після чого процес починає поступово уповільнюватися.

При заморожуванні такий процес відбувається повільніше і спостерігається нерівномірним викидом енергії (теплоти) в оточуюче середовище. Це пояснюється тим, що при різкому зниженні температури може статися часткове призупинення дихання, в результаті чого зростає тепловиділення. Основними факторами, що визначають ступінь оборотності заморожування, є характер кристалотворення і локалізація льоду. Внаслідок дегідратації температура замерзання вмісту клітин знижується. При зниженні температури в клітинах спочатку настає стан переохолодження, а потім у них спонтанно виникають центри кристалізації, що призво-

Таблиця 5

Тривалість охолодження і заморожування качанів кукурудзи цукрової залежно від їх маси та діаметра

Гібрид Кокані F1	Маса, г	Діаметр, мм	Об'єм, м <sup>3</sup>	Тривалість зниження температури, хв.	Зниження температури, °C	Початкова температура, °C
Охолодження до 0						
Качан 1	396,0	50,84	0,024	480,0	0,04	13,09
Качан 2	368,0	49,24	0,021	450,0	0,03	14,92
Качан 3	351,0	47,36	0,018	420,0	0,02	14,20
Заморожування до -13						
Качан 1	441,8	55,86	0,025	540,0	-12,56	15,93
Качан 2	388,6	52,64	0,021	480,0	-12,56	15,51
Качан 3	329,7	50,31	0,019	420,0	-12,66	15,47
Заморожування до -25						
Качан 1	410,0	52,01	0,020	630,0	-25,0	23,6
Качан 2	325,0	43,12	0,018	570,0	-25,0	26,5
Качан 3	331,0	35,97	0,013	330,0	-25,0	26,3

У початків, які охолоджували до 0°C, різниця у масі між першим і другим була 28 г, між першим і третім – 45 г, різниця у діаметрі – 1,60 та 3,48 мм відповідно. Тривалість зниження температури близько до нульової відмітки була значна, а саме: між першим і другим качаном – 30 хв, між першим і третім – 60 хв., і це при тому, що різниця у початковій температурі качанів становила 1,83°C та 1,11°C відповідно.

Динаміка темпу охолодження і заморожування качанів кукурудзи цукрової свідчить, що тривалість зниження температури у центрі качана залежить від його маси та розміру. Для того, щоб охолодити качан на глибину близько 2,0 см до 0°C, потрібно 8 годин, а на 1,8 см – 7 годин. Заморожування качана до мінус 25°C на глибину 2,05 см відбувається протягом 10,5 годин, а на 1,6 см – за 5,5 годин (табл. 2, 4).

Дзеркальним відображенням інтенсивності зміни температури в центрі качанів кукурудзи цукрової при їх охолодженні є зміна ентальпії (табл. 2, 3, 4).

Процеси охолодження і заморожування відбуваються нерівномірно, іноді зовсім припиняються, що свідчить про опір живого рослинного організму шляхом віддачі теплової енергії. Збільшення показників відсотка усуненого тепла відбувалося не за

дять до утворення внутрішньоклітинного льоду. В початку 1 цей процес чітко прослідковується на 120 хв. Заморожування до мінус 25°C, у початків 2 та 3 – на 150 хв.

**Висновки та перспективи подальших досліджень у даному напрямі.** Вперше визначені фізичні та теплофізичні показники качанів кукурудзи цукрової. Експериментальним шляхом встановлені темпи охолодження і заморожування качанів залежно від їх масово-розмірних показників. Технологічний процес тривалості охолодження і заморожування повинен бути зорієнтований на качани, які мають максимальні показники маси та діаметра, згідно з представницькою пробою, визначеною РСТ УСССР 297-91.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Гинзбург А. С. Теплофизические характеристики картофеля, овощей и плодов / А. С. Гинзбург, М. А. Громов. – М. : Агропромиздат, 1987. – 272 с.
2. Данилов А. М. Холодильная технология пищевых продуктов / А. М. Данилов. – К. : Издательское объединение “Вища школа”, 1974. – 256 с.

3. Жадан В. З. Теплофизические основы хранения сочного растительного сырья на пищевых предприятиях / В. З. Жадан. – М. : Пищевая промышленность, 1976. – 238 с.

4. Колтунов В. А. Интенсивність зниження і підвищення температури цибуль залежно від їх розміру / В. А. Колтунов, І. М. Гордієнко // Вісник ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. – 2013. – 9 (13). – С. 294-302. – (Серія “Рослинництво, селекція, насінництво, плодовоовочівництво”).

5. Колтунов В. А. Технологія зберігання продовольчих товарів : Лабораторний практикум / В. А. Колтунов. – К. : КНТЕУ, 2003. – 341 с.

6. Колтунов В. А. Харчові продукти. Фрукти, ягоди, овочі, гриби : підручник / В. А. Колтунов. – К. : КНТЕУ, 2013. – 484 с.

7. Колтунов В. А. Якість плодовоовочевої продукції та технології зберігання : монографія / В. А. Колтунов; КНТЕУ, 2004. Ч. 1 : Якість і збереженість картоплі та овочів. – 568 с.

8. Колтунов В. Швидкість охолодження плодів груші літніх сортів / В. Колтунов, В. Мазур // Матеріали міжнародної наук.-практ. конф. “Товарознавство і торговельне підприємництво: стан, проблеми, перспективи”, 18-19 квітня 2013, КНТЕУ. – С. 66-71.

9. Кукуруза сахарная свежая (пochатки) : РСТ УССР 297-91. – [действует с 01.01.1992]. – К. : Госплан УССР. – 1991. – 10 с. – (Республиканский стандарт Украинской ССР).

10. Методические рекомендации по хранению плодов, овощей и винограда. Организация и проведение исследований / [под общей ред. С. Ю. Дженеева и В. И. Иванченко]. – Ялта : ИВиВ “Магарач”, 1998. – 152 с.

11. Плеханова Т. П. Цукрова кукурудза / Т. П. Плеханова. – Харків, 2011. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://divo-gorod.narod.ru>.

12. Продукты з фруктів та овочів. Визначення розчинних сухих речовин рефрактометричним методом (ISO 2173:2003, IDT) : ДСТУ ISO 2173:2007. – [чинний від 2009-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2010. – 11 с. – (Національні стандарти України).

13. Семеняка І. Харчова кукурудза / І. Семеняка // TheUkrainianFarmer. – 2012. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.agrotimes.net/harchova-kukurudza.html>.

14. Скрипников Ю. Г. Прогрессивная технология хранения и переработки плодов и овощей / Ю. Г. Скрипников. – М. : Агрпромиздат, 1989. – 159 с.

15. Физико-технические основы холодильной обработки пищевых продуктов / Г. Аверин, Н. Журавская, Э. Каухчешвили и др.; [под ред. Э. Каухчешвили]. – М. : Агрпромиздат, 1985. – 225 с.

## REFERENCES

1. Ginzburg, A. S. and Gromov, M. A. (1987), *Teplofizicheskie harakteristiki kartofelya, ovoshchej i plodov*, Agropromizdat, M., 272 s.

2. Danilov, A. M. (1974), *Holodil'naya tekhnologiya pishchevyh produktov*, Izdatel'skoe ob"edinenie “Vishcha shkola”, K., 256 s.

3. ZHadan, V. Z. (1976), *Teplofizicheskie osnovy hraneniya sochnogo rastitel'nogo syr'ya na pishchevyh predpriyatiyah*, Pishchevaya promyshlennost', Moskva, 238 s.

4. Koltunov, V. A. and Gordienko, I. M. (2013), *Intensivnist' znizhennya i pidvishchennya temperaturi cibuli zalezchno vid ih rozmiru*, *Visnik HNAU im. V. V. Dokuchaeva*, 9 (13), s. 294-302.

5. Koltunov, V. A. (2003), *Tekhnologiya zberigannya prodovol'chih tovariv : Laboratornij praktikum*. KNTU, K., 341 s.

6. Koltunov, V. A. (2013), *Harchovi produkti. Frukti, yagodi, ovochi, gribi*, KNTU, KiiV, 484 s.

7. Koltunov, V. A. (2004), *YAkist' plodoovochevoi produkci ta tekhnologii zberigannya*, KNTU, CH. 1 : YAkist' i zberezhenist' kartopli ta ovochiv, 568 s.

8. Koltunov V. and Mazur V. (2013), *SHvidkist' oholodzhennya plodiv grushi litnih sortiv*, *Materiali mizhnarodnoi nauk.-prakt. konf. “Tovarovnavstvo i tovgovel'ne pidpriemnictvo: stan, problemi, perspektivi”*, 18-19 kvitnya, KNTU, s. 66-71.

9. Kukuруза saharная svezhaya (pochatki) : RST USSR 297-91 (1991), [chinnij vid 01.01.1992], Gosplan USSR, K., 10 s. – (Respublikanskij standart Ukrainskoj SSR).

10. *Metodicheskie rekomendacii po hraneniyu plodov, ovoshchej i vinograda. Organizaciya i provedenie issledovaniy, pod obshchej red. S. YU. Dzheneeva i V. I. Ivanchenko* (1998), IViV «Magarach», YAlta, 152 s.

11. Plekhanova, T. P. (2011), *Cukrova kukurudza*, available at: <http://divo-gorod.narod.ru>.

12. *Produkti z fruktiv ta ovochiv. Vznachennya rozchinnih suhих rechovin refraktometrichnim metodom (ISO 2173:2003, IDT) : DSTU ISO 2173:2007*, [chinnij vid 2009-01-01], (2010), *Derzhspozhivstandart Ukraїni*, K., 11 s. – (Nacional'ni standarti Ukraїni).

13. Semenyaka I. (2012), *Harchova kukurudza*, *The UkrainianFarmer*, available at: <http://www.agrotimes.net/harchova-kukurudza.html>.

14. Skripnikov, YU. G. (1989), *Progressivnaya tekhnologiya hraneniya i pererabotki plodov i ovoshchej*, Agropromizdat, M., 159 s.

15. *Fiziko-tehnicheskie osnovy holodil'noj obrabotki pishhevyh produktov*, G. Aверин, N. Zhuravskaja, Je. Kauhcheshvili i dr.; pod red. Je. Kauhcheshvili, (1985), Agropromizdat, M., 225 s.