

І.В. ДУБКОВЕЦЬКИЙ, канд. техн. наук,

І.Ф. МАЛЕЖИК, д-р техн. наук

Національний університет харчових технологій

Я.В. Євчук

Уманський національний університет садівництва, м. Умань

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ МІКРОХВИЛЬОВОГО ЗНЕВОДНЕННЯ ГЛОДУ

Наведено результати зміни хімічного складу плодів глоду в процесі мікрохвильового сушіння при потужності магнетрону — 300, 500, 700 і 1000 Вт.

Ключові слова: мікрохвильове сушіння глоду, вуглеводи, аскорбінова кислота та поліфенольні сполуки.

При вивченні плодів глоду, як малопоширеної лікарської сировини, важливим є не використання їх у свіжому вигляді, а отримання із них напівфабрикатів у вигляді сушених плодів, настоянок, екстрактів і т.п. У зв'язку з цим необхідно знати закономірності накопичення поживних речовин у плодах в процесі технологічної переробки.

Мета нашої роботи полягала у вивченні зміни хімічного складу плодів глоду в процесі мікрохвильового сушіння при різних параметрах. Для сушених плодів глоду вирішальними показниками, які впливають на якісні показники готового продукту, являються такі біологічно активні речовини як вуглеводи, аскорбінова кислота, каротин, пектинові речовини та поліфенольні сполуки.

На даний час багатьма іноземними і вітчизняними фірмами розроблене устаткування з використанням мікрохвильової енергії, яка забезпечує раціональну переробку плодів і ягід. Поряд із цим недостатньо вивченим є процес зневоднення сировини струмами високої частоти (СВЧ) та зміна хімічного складу сировини при переробці. Виходячи з вищезазначеного, перед нами була поставлена мета — дослідити процес зневоднення плодів глоду з використанням струмів високої частоти.

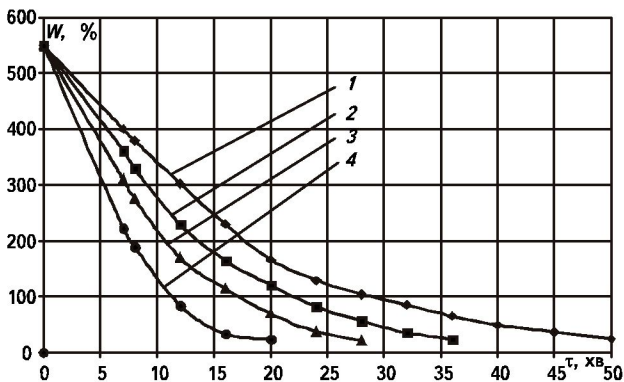


Рис. 1. Криві мікрохвильового сушіння глоду сорту Збігнен при потужності магнетрону, Вт:
1 — 300, 2 — 500, 3 — 700, 4 — 1000

На рис. 1. представлені криві сушіння плодів глоду сорту Збігнев з використанням струмів високої частоти. Сушіння здійснювалося при чотирьох рівнях використання номінальної потужності магнетрону — 300, 500, 700 і 1000 Вт. Із графіків видно, що процес сушіння плодів глоду залежить від рівня магнетрону. Так, при потужності магнетрону 300 Вт сушіння глоду з початковим вологовмістом 550 % до кінцевого 24 % проходить протягом 50 хв., а починаючи з потужностей магнетронів 500, 700 і 1000 Вт процес сушіння проходить, відповідно, 37, 28 і 20 хв. Таким чином, тривалість процесу сушіння зменшується з підвищенням магнетрону до максимальної потужності (1000 Вт) в 1,6 рази.

З рисунку відсутній період прогріву глоду, а спостерігається період сталої (перший період) і спадаючої (другий період) швидкості сушіння.

Апроксимуючи дані першого періоду сушіння, вивели рівняння, що підпорядковуються лінійному закону.

Для температур теплоносія:

$$300 \text{ Вт} - W = -20\tau + 544 \text{ при } R^2 = 0,98;$$

$$500 \text{ Вт} - W = -26,8\tau + 548,8 \text{ при } R^2 = 0,97;$$

$$700 \text{ Вт} - W = -32\tau + 542,9 \text{ при } R^2 = 0,98;$$

$$1000 \text{ Вт} - W = -46,7\tau + 550 \text{ при } R^2 = 0,99,$$

Апроксимуючи дані другого періоду сушіння, вивели рівняння, що підпорядковуються логарифмічному закону.

$$300 \text{ Вт} - W = -173,4 \ln(\tau) + 692 \text{ при } R^2 = 0,98;$$

$$500 \text{ Вт} - W = -189,4 \ln(\tau) + 693 \text{ при } R^2 = 0,99;$$

$$700 \text{ Вт} - W = -203 \ln(\tau) + 685 \text{ при } R^2 = 0,98;$$

$$1000 \text{ Вт} - W = -186 \ln(\tau) + 564 \text{ при } R^2 = 0,94,$$

де W — вологовміст, %; τ — час, хв; R^2 — середньоквадратичне відхилення.

В результаті обробки кривих сушіння отримані залежності швидкості сушіння глоду Збігнев від вологовмісту (рис. 2), що дають змогу проаналізувати характерні особливості глоду. При виведенні рівняння кінетики сушіння з експериментальних залежностей $dW/d\tau$ встановили, що на першій стадії швидкість сушіння можна приблизно вважати постійною. З підвищенням температури теплоносія вона зростає від 0,74 кг/(кг·хв) (для 60 °С) до 1,45 кг/(кг·хв) (для 100 °С).

Проаналізувавши другий період сушіння вивели апроксимаційні рівняння при температурах:

$$60 \text{ °С} - dW/d\tau = 0,00001 W^2 + 0,0004 W + 0,026 \text{ при } R^2 = 0,92;$$

$$70 \text{ °С} - dW/d\tau = 0,00002 W^2 - 0,0002 W + 0,033 \text{ при } R^2 = 0,95;$$

$$80 \text{ °С} - dW/d\tau = 0,000005 W^2 + 0,0037 W - 0,087 \text{ при } R^2 = 0,95;$$

$$90 \text{ °С} - dW/d\tau = 0,00005 W^2 - 0,0001 W + 0,0487 \text{ при } R^2 = 0,92;$$

$$100 \text{ °С} - dW/d\tau = 0,0001 W^2 - 0,0117 W + 0,313 \text{ при } R^2 = 0,92.$$

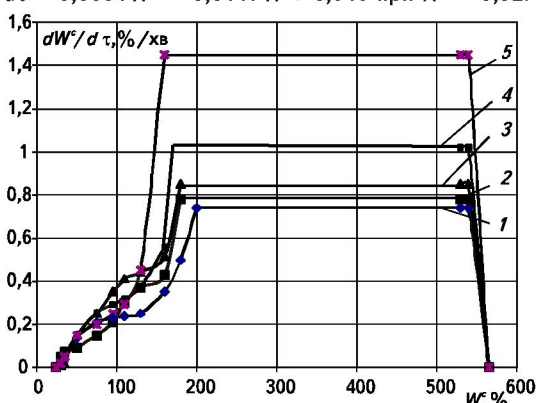


Рис. 2. Криві швидкості конвективного сушіння глоду сорту Збігнев при температурах, °С:

1 — 60, 2 — 70, 3 — 80, 4 — 90, 5 — 100

Відомо, що вуглеводи є важливою групою органічних сполук, які входять до складу рослинних організмів. Вміст вуглеводів по відношенню до сухої речовини складає 70 – 90 %. Відомо, що при різних технологічних процесах переробки сировини частина вуглеводів розщеплюється, тобто певною мірою руйнується. В одному випадку розщеплення обмежується гідролізом дисахаридів, в іншому — проходить більш глибокий розпад цукрів (процеси карамелізації та меланоїдиноутворення).

Суттєве зниження вмісту загальної кількості цукрів відбувається із підвищенням напруженості магнетрону, внаслідок чого спостерігалася втрата соку плодів під дією струмів надвисокої частоти [1]. Проте проведені нами дослідження підтверджують те, що більш високим вмістом цукрів характеризуються ті ж сорти і види глоду, які вирізнялися за вмістом цього показника у свіжому вигляді.

Так, за потужності магнетрону 300 Вт (рис. 3) найбільший вміст цукрів, як і у свіжих плодах, мали плоди сорту Шаміль, глоду алма-атинського. Їх вміст, відповідно, становив 75,9, 75,0 %, а тривалість сушіння — 430 та 250 хв. Як показали наші дослідження, сорт Шаміль і вид алма-атинський у цьому варіанті зневоднення мали майже однакову кількість загальних цукрів. Для цих же сортів і видів у варіанті зневоднення з використанням потужності магнетрону 500 Вт і тривалості сушіння, відповідно 397 та 231 хв., вміст загальних цукрів становив 70,4, і 68,9 %, що на 11,6 та 13,9 % менше від їх вмісту у свіжих плодах. Подібні зміни спостерігалися і при зневодненні плодів у варіанті з використанням потужності магнетрону 700 Вт, тривалість сушіння при якому сягала, в середньому по вказаних сортах, 397 хв.

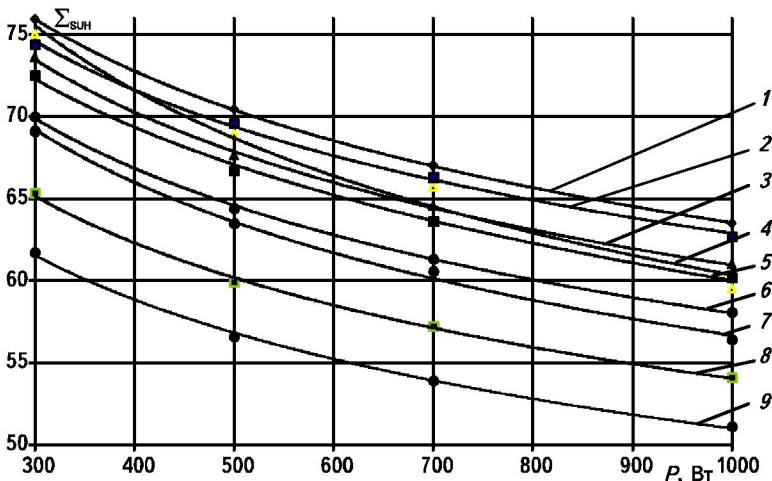


Рис. 3. Зміна вмісту загальної кількості вуглеводів у плодах глоду висушених мікрохвильовим методом для сортів і видів глоду, %:

1 — Шаміль; 2 — Мао Мао; 3 — Збігнев; 4 — глід алма-атинський; 5 — глід Мейера; 6 — глід одноматочковий; 7 — Китайський; 8 — Людмил; 9 — глід східний

Аналіз наших досліджень підтверджує думку вчених, що підвищення потужності магнетрону до 1000 Вт за тривалості процесу сушіння 284 хв., суттєво впливає на зниження цукрів. Так, в цьому варіанті зневоднення у сорту Шаміль та Мао Мао вміст цукрів знизився, відповідно на 20,4 та 21,4 %, у порівнянні із свіжими. Проте, варто зазначити, що за даними наших досліджень, порівняно низькими за вмістом цукрів при даному методі сушіння є плоди сорту Людмил та глоду східного, що не призводить до зниження їх біологічної цінності.

Після апроксимації дослідних даних одержали степеневі рівняння залежності вмісту загальної кількості вуглеводів в плодах глоду від температури теплоносія:

$$\text{Шаміль} — \Sigma_{\text{СУН}} = 176,7 P^{-0,148}, R^2 = 0,99;$$

$$\text{Мао Мао} — \Sigma_{\text{СУН}} = 167,4 P^{-0,142}, R^2 = 0,99;$$

- Збігнев — $\Sigma_{\text{СУН}} = 177,9 P^{-0,155}$, $R^2 = 0,99$;
- глід алма-атинський — $\Sigma_{\text{СУН}} = 218,9 P^{-0,187}$, $R^2 = 0,98$;
- глід Мейера — $\Sigma_{\text{СУН}} = -10 \ln P + 130$, $R^2 = 0,99$;
- глід одноматочковий — $\Sigma_{\text{СУН}} = 168,66 P^{-0,155}$, $R^2 = 0,99$;
- китайський — $\Sigma_{\text{СУН}} = 178,3 P^{-0,166}$, $R^2 = 0,99$;
- Людмил — $\Sigma_{\text{СУН}} = 157,9 P^{-0,155}$, $R^2 = 0,99$;
- глід східний — $\Sigma_{\text{СУН}} = 150 P^{-0,156}$, $R^2 = 0,99$;

$\Sigma_{\text{СУН}}$ — кількість вуглеводів у плодах глуду, %; P — потужність магнетрону, Вт.

Отже, в цілому, підвищення потужностей магнетрону при сушіння плодів глуду призвело до карамелізації цукрів і потемніння висушених плодів, так і, відповідно, до більших втрат вуглеводів у всіх досліджуваних плодах.

Важливим критерієм цінності плодів глуду є наявність в них антиоксидантних речовин, однією з яких є аскорбінова кислота (вітамін С). Відомо, що вона володіє специфічними антирадіаційними та протиокислювальними властивостями, позитивно діє на центральну нервову систему.

Аскорбінова кислота активно бере участь у різних обмінах речовин і визначає їх винятково широкий спектр дії та безліч показань до застосування здоровими і хворими людьми. Вона має сильні відновлюючі властивості, а утворена при її окисленні дегідроаскорбінова кислота прямопропорційно пов'язана з антиоксидантними властивостями цього компоненту.

У проведених нами дослідженнях (рис. 4) було виявлено, що кращими за вмістом аскорбінової кислоти були плоди глуду одноматочкового і східного із відповідним вмістом аскорбінової кислоти 87,7 та 42,3 мг/100 г, висушені струмами високої частоти за потужності магнетрону 300 Вт і тривалості сушіння глуду одноматочкового — 194 хв., а східного — 520 хв. Гіршими за вмістом аскорбінової кислоти у цьому варіанті зневоднення були плоди глуду алма-атинського і сорту Збігнев, вміст аскорбінової кислоти у яких становив, відповідно, 21,2 та 20,9 мг/100 г, при їх середній тривалості сушіння — 256 хв.

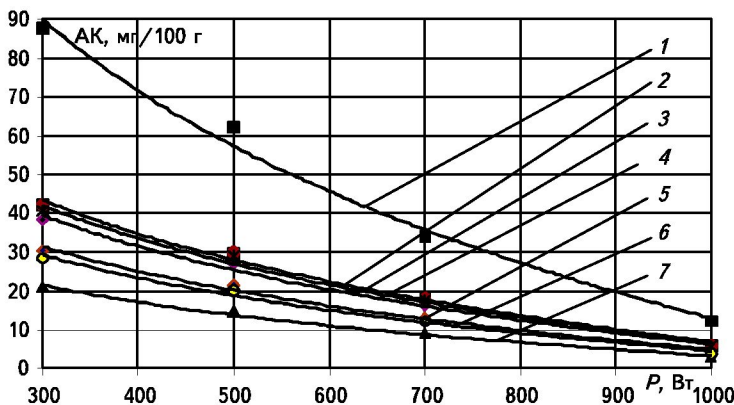


Рис. 4. Вміст аскорбінової кислоти в плодах глуду висушених мікрохвильовим методом, мг/100 г:

- 1 — глід одноматочковий; 2, 3 — глід східний, Людмил; 4 — Мао Мао; 5 — глід Мейера; 6 — Шаміль; 7 — Китайський; 8, 9 — Збігнев, глід алма-атинський

Цікавим є те, що подальше підвищення потужності магнетрону призвело до суттєвого зниження вмісту аскорбінової кислоти у всіх варіантах зневоднення під дією струмів високої частоти. Так, потужність магнетрону 500 Вт (тривалість сушіння 411 хв.) призвела до втрат аскорбінової кислоти на 79 %. У варіанті з використанням потужності магнетрону 700 Вт (тривалість сушіння 397 хв.) у всіх досліджуваних зразках зниження вмісту аскорбінової кислоти у порівнянні із свіжими плодами становило в середньому 88 %.

Подальше підвищення потужності магнетрону веде до збільшення втрат цього компоненту. Так, при сушінні плодів глуду при потужності магнетрону 1000 Вт і середній тривалості

процесу 284 хв. втрати вмісту аскорбінової кислоти склали в середньому 96 % від вмісту у свіжих плодах.

Як показали результати наших досліджень, плоди глуду одноматочкового, східного та сорту Людмил, які вирізнялися порівняно високим вмістом аскорбінової кислоти при сушінні з використанням потужності магнетрону 300 Вт істотно знизили вміст аскорбінової кислоти, проте у цих плодах у варіанті з використанням найвищої потужності магнетрону вміст аскорбінової кислоти все ж залишався найвищим, відповідно 12,2 та 5,9 мг/100 г. Поряд із цим, з найнижчим вмістом аскорбінової кислоти, виявилися та плоди сорту Китайський 1 – 3,9 мг/100 г (тривалість сушіння 490 хв.) та глуду алма-атинського — 2,8 мг/100 г (тривалість сушіння 151 хв).

Апроксимуючи дослідні дані одержали логарифмічні рівняння залежності аскорбінової кислоти в плодах глуду від потужності магнетрону:

$$\text{Глід одноматочковий} — \text{АК} = -63,9 \ln(P) - 455, R^2 = 0,99;$$

$$\text{глід східний, Людмил} — \text{АК} = -30,34 \ln(P) + 217, R^2 = 0,99;$$

$$\text{Мао Мао} — \text{АК} = -29,36 \ln(P) + 210, R^2 = 0,99;$$

$$\text{глід Мейера} — \text{АК} = -27,52 \ln(P) + 197, R^2 = 0,99;$$

$$\text{Шаміль} — \text{АК} = -21,94 \ln(P) + 157, R^2 = 0,99;$$

$$\text{Китайський} — \text{АК} = -20,52 \ln(P) + 146, R^2 = 0,99;$$

$$\text{Збігнев, глід алма-атинський} — \text{АК} = -15 \ln(P) + 107, R^2 = 0,99.$$

АК — вміст аскорбінової кислоти в плодах глуду висушених мікрохвильовим методом, мг/100 г ; P — потужність магнетрону, Вт.

Вміст біологічно активних речовин глуду може слугувати важливим компонентом в організації здорового і функціонального харчування населення. Тому аналіз поліфенольних сполук та їх окремих класів є важливим при вивченні біологічної цінності плодів глуду з високим вмістом цих сполук [3].

Відомо [2], що поліфеноли є активними метаболітами і відіграють важливу роль в різноманітних фізіологічних функціях, в тому числі стійкість до інфекційних захворювань. Від вмісту поліфенолів залежить забарвлення, аромат та смак плодів.

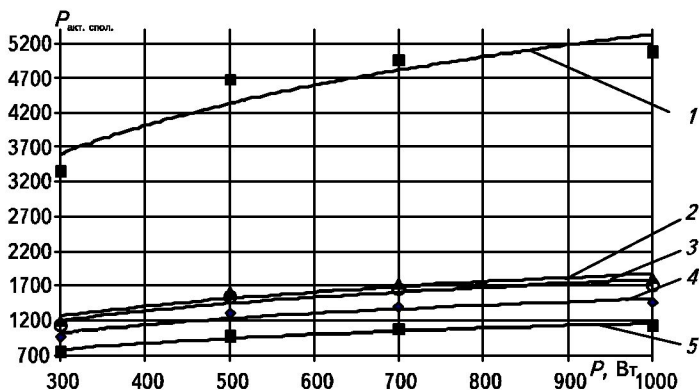


Рис. 5. Вміст загальної кількості поліфенолів у плодах глуду висушених мікрохвильовим методом, мг/100 г:

1 — глід одноматочковий; 2 — глід алма-атинський; 3 — Збігнев;
4 — Шаміль; 5 — Людмил

Після апроксимації дослідних даних одержали логарифмічні рівняння вмісту загальної кількості поліфенолів в плодах глуду від потужності магнетрону:

$$\text{Глід одноматочковий} — P_{\text{ак. спол.}} = 1435,7 \ln(P) - 4584, R^2 = 0,86;$$

$$\text{глід алма-атинський} — P_{\text{ак. спол.}} = 508 \ln(P) - 1636, R^2 = 0,949;$$

$$\text{Збігнев} — P_{\text{ак. спол.}} = 491 \ln(P) - 1597, R^2 = 0,97;$$

$$\text{Шаміль} — P_{\text{ак. спол.}} = 413 \ln(P) - 1338, R^2 = 0,938;$$

Людмил — $P_{\text{ак. спол.}} = 315,8 \ln(P) - 1017, R^2 = 0,947$;

$P_{\text{ак. спол.}}$ — кількості вуглеводів у плодах глоду, %; P — потужність магнетрону, Вт.

Результатами досліджень встановлено, що потужність магнетрону 300 Вт і середня тривалість сушіння 339 хв. призвела до найнижчого вмісту поліфенольних сполук, в середньому по сортах і видах — 1481 мг/100 г, що на 61 % нижче від вмісту у свіжих плодах і обумовлене, вочевидь, тривалим процесом їх зневоднення.

Як видно з даних результатів досліджень, при мікрохвильовому методі сушіння най-більший вміст загальної кількості поліфенольних сполук був у глоду одноматочкового (3363 мг/100 г) та глоду алма-атинського (1190 мг/100 г) за тривалості сушіння відповідно, 194 та 250 хв. Найменший вміст поліфенольних сполук був у сортів Шаміль і Людмил, відповідно 967 та 755 мг/100 г, за тривалості сушіння 430 і 560 хв.

Проведені дослідження показали, що поступове підвищення потужності магнетрону до 500 Вт і скорочення тривалості сушіння до 313 хв. призвело до підвищення вмісту цих сполук, в середньому на 37,3 %, порівняно із попереднім варіантом сушіння плодів, за потужності магнетрону 300 Вт.

Так, у глоду одноматочкового у цьому варіанті зневоднення за тривалості сушіння 177 хв., вміст загальної кількості поліфенолів становив 4689 мг/100 г, що на 39,4 % нижче від попереднього варіанту сушіння. У глоду алма-атинського, за тривалості сушіння 231 хв., вміст загальної кількості поліфенольних сполук становив 1627 мг/100 г, що на 36,7 % менше від варіанту сушіння за потужності магнетрону 300 Вт. У сорту Людмил, де вміст загальної кількості поліфенольних сполук був найменшим, у варіанті сушіння за потужності магнетрону 500 Вт і тривалості 517 хв., вміст поліфенолів становив 978 мг/100 г, що на 29,5 % нижче від варіанту сушіння за потужності магнетрону 300 Вт.

У варіанті сушіння плодів за потужності магнетрону 700 Вт і тривалості процесу зневоднення в середньому 296 хв. вміст загальної кількості поліфенольних сполук збільшився на 42,7 % порівняно із варіантом сушіння за потужності магнетрону 300 Вт. У глоду одноматочкового у цьому варіанті сушіння вміст загальної кількості поліфенольних сполук становив 4961 мг/100 г (тривалість сушіння 168 хв.), а у сорту Людмил — 1089 мг/100 г (тривалість сушіння 490 хв.). Сушіння плодів глоду за високої потужності магнетрону — 1000 Вт за рахунок скорочення тривалості сушіння (211 хв.) призвело до збільшення загальної кількості поліфенольних сполук, в середньому на 40,9 %. У глоду одноматочкового у цьому варіанті сушіння їх вміст становив 5088 мг/100 г, а у сорту Людмил — 1125 мг/100 г. Тривалість сушіння, відповідно, 120 та 351 хв.

Висновки. Встановлено значну антиоксидантну властивість плодів глоду та продуктів його переробки, що вказує на перспективу їх використання у якості природних антиокислювачів та у виробництві продуктів функціонального призначення.

Доведено, що параметром якості сушіння при інтенсивному зневодненні з використанням високих температур сушильного агенту є збереження термолабільних вітамінів, основний вплив на які має температура.

Визначено гранично допустимі температури та тривалості процесу сушіння, які забезпечують збереженість вітамінної цінності та кольорової гами готової продукції.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Типсина Н.Н.* Использование СВЧ-нагрева для получения полуфабрикатов из мелко-плодных яблок Сибири / Н.Н. Типсина, А.Е. Туманова // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2008. — № 2. — С. 20 — 22.
2. *Мурадов М.С.* Изучение свойств полифенольных соединений плодов бузины и боярышника / М.С. Мурадов, Т.Н. Даудова, Л.А. Рамазанова // Материалы всерос.науч.-практ. конф. «Химия и технологии в медицине». — Махачкала; ДГУ, 2001. — С. 214 — 216.
3. *Євчук Я.В.* Підвищення якості сушеної продукції за рахунок обґрунтовано підібраних методів переробки / Я.В. Євчук // Агробіологія: Збірник наукових праць Білоцерківського національного аграрного університету. — Біла Церква, 2010. — Випуск 3(74). — С. 72 — 75.

Приведены результаты изменения химического состава плодов боярышника в процессе микроволновой сушки при мощности магнетрона — 300, 500, 700 и 1000 Вт.

Ключевые слова: микроволновая сушка боярышника, углеводы, аскорбиновая кислота и полифенольные соединения.

I. Dubkovetsky, I. Malechyk, Ja. Yevchuk

Investigation of the process of convection degidration hawthorn

Given the results of changes of the chemical composition of fruits of hawthorn in the process of a microwave drying at the power of the magnetron — 300, 500, 700 and 1000 Watts. In the us studies have found that the best on the content of ascorbic acid were the fruits of hawthorn oneroyal the east and with the appropriate content of ascorbic acid cheese and 42.3 mg/100 g, dried high-frequency currents on the power of the magnetron 300 W and the duration of drying hawthorn oneroyal — 194 min., and the eastern — 520 min. The greatest content of sugars, as in fresh fruits, were the fruits of varieties of Shamil, hawthorn, alma-atinskiy. Their contents, respectively, was significant, 75,0 %, and the duration of drying — 430 and 250 min. As shown by our study, grade Shamil and the type of alma-atinskiy in this version of dehydration had almost the same amount of total sugars. The results of the researches it is established, that the power of the magnetron 300 W and the average duration of drying 339 min. led to the low content of polyphenolic compounds, in average in the varieties and species — 1481 mg/100 g, that is by 61 % below the content in fresh fruit and is evidently a long process of their dehydration.

Key words: microwave drying hawthorn, carbohydrates, ascorbic acid and polyphenolic compounds

Одержана редколегією 10.11.2011 р.