

І.В. Дубковецький, канд. техн. наук,

І.Ф. Малежик, д-р техн. наук,

Я.В. Євчук

Національний університет харчових технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КОНВЕКТИВНОГО СУШІННЯ ГЛОДУ

Наведено результати зміни хімічного складу плодів глоду в процесі сушіння конвективним методом при різних параметрах.

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

The results over of changes of chemical composition of garden-stuffs of hawthorn are brought in the process of the convective drying at different parameters.

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

Вченими в галузі медицини доведено, що важливий патогенетичний фактор процесу старіння, мутагенезу, розвитку низки важких захворювань, залежить від надлишкового утворення в організмі активних форм кисню, який отримав назву оксидантного стресу. Для підтримання гомеостазу в клітинах і захисту біологічних систем важливі антиоксидантні системи захисту організму. Для нормалізації їх функції необхідно, щоб до організму надходив широкий набір біоантиоксидантів, що покращило б стан здоров'я населення [1].

Антиоксиданти — важливі компоненти харчування, які попереджують утворення вільних радикалів, зменшують їх дію, приймають участь в їх інактивації, сповільнюють загальні процеси старіння, попереджують розвиток хронічних захворювань. Встановлено [2], що найбільш ефективними є антиоксидантні комплекси природного походження, до яких відносять і глід.

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

Криві сушіння (рис. 1) характеризують зміну інтегрального вологовмісту W залежно від часу. Звідси видно, що із зростанням температури теплоносія тривалість процесу сушіння скорочується на незначну величину для досягнення кінцевої величини вологовмісту $W^c = 27\%$.

З рисунку видно, що період прогріву глоду, зі зростанням температури теплоносія з 60 до 100 °C відповідно зменшується з 50 до 5 хвилин. Період сталої швидкості сушіння спостерігається до першої критичної точки.

Апроксимуванням даних першого періоду сушіння, одержали рівняння, що підпорядковуються лінійному закону.

Для температур теплоносія:

$$60\text{ °C} - W = -0,77\tau + 693 \text{ при } R^2 = 0,996;$$

$$70\text{ °C} - W = -0,784\tau + 620 \text{ при } R^2 = 0,999;$$

$$80\text{ °C} - W = -0,85\tau + 574 \text{ при } R^2 = 0,994;$$

$$90\text{ °C} - W = -1,013\tau + 550 \text{ при } R^2 = 0,992;$$

$$100\text{ °C} - W = -1,442\tau + 534 \text{ при } R^2 = 0,967,$$

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

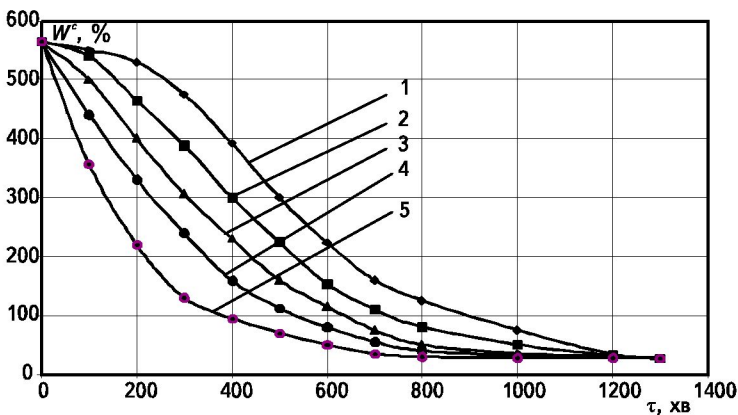


Рис.1. Криві конвективного сушіння глуду сорту Збiгнєв при температурах, °С:
1 — 60, 2 — 70, 3 — 80, 4 — 90, 5 — 100

За даними другого періоду сушіння, вивели рівняння, що підпорядковуються логарифмічному закону.

$$60\text{ }^{\circ}\text{C} - W = -219 \ln(\tau) + 1591 \text{ при } R^2 = 0,994;$$

$$70\text{ }^{\circ}\text{C} - W = -156,6 \ln(\tau) + 1140 \text{ при } R^2 = 0,952;$$

$$80\text{ }^{\circ}\text{C} - W = -131,5 \ln(\tau) + 574 \text{ при } R^2 = 0,873;$$

$$90\text{ }^{\circ}\text{C} - W = -105,7 \ln(\tau) + 767 \text{ при } R^2 = 0,869;$$

$$100\text{ }^{\circ}\text{C} - W = -68,2 \ln(\tau) + 500 \text{ при } R^2 = 0,858,$$

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

В результаті обробки кривих сушіння отримані залежності швидкості сушіння глуду Збiгнєв від вологовмісту (рис. 2), що дають змогу проаналізувати характерні особливості глуду. 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:

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

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

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

$$90\text{ }^{\circ}\text{C} - dW/d\tau = 0,00005 W^2 -$$

$$- 0,0001 W + 0,0487 \text{ при } R^2 = 0,92;$$

$$100\text{ }^{\circ}\text{C} - dW/d\tau = 0,0001 W^2 -$$

$$- 0,0117 W + 0,313 \text{ при } R^2 = 0,92.$$

Відомо, що вуглеводи є важливою групою органічних сполук, які входять до складу рослинних організмів. Вміст вуглеводів по відношенню до сухої речовини складає 70 — 90 %.

Оскільки культурні сорти глуду відносяться до маловивчених культур, то інформації щодо складу вуглеводів та їх кількості у більшості сортів недостатньо. У плодах дикорослих видів глуду цукри представлені, в основному, моносахаридами. Це, перш за все, гексози (глюкоза і фруктоза), а також рамноза. Сахароза в більшості видів відсутня, або міститься в досить малих кількостях.

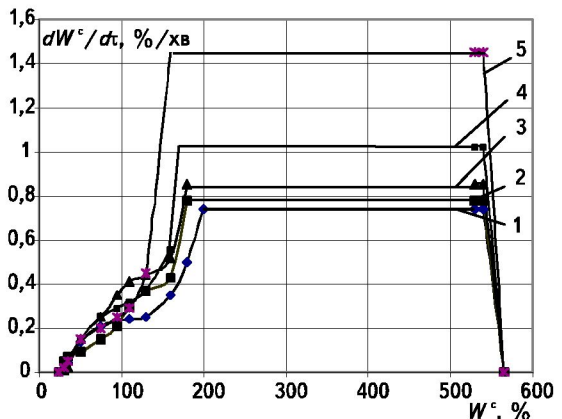


Рис.2. Криві швидкості конвективного сушіння глуду сорту Збiгнєв при температурах, °С:
1 — 60, 2 — 70, 3 — 80, 4 — 90, 5 — 100

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).

Глибокий розпад цукрів при нагріванні їх вище температури плавлення призводить до утворення темнозабарвлених сполук, тобто карамелізації. Встановлено, що температура плавлення цукрів становить 98 — 102 °С. Проходження процесу карамелізації залежить від концентрації цукру в продукті, рН середовища, умов нагрівання та інших факторів.

Дія високих температур процесу сушіння, в більшості випадків, призводить до утворення оксиметилфурфуролу, що є небажаним явищем, яке призводить до утворення темнозабарвлених сполук плодів, внаслідок чого погіршуються органолептичні властивості та показники безпечності.

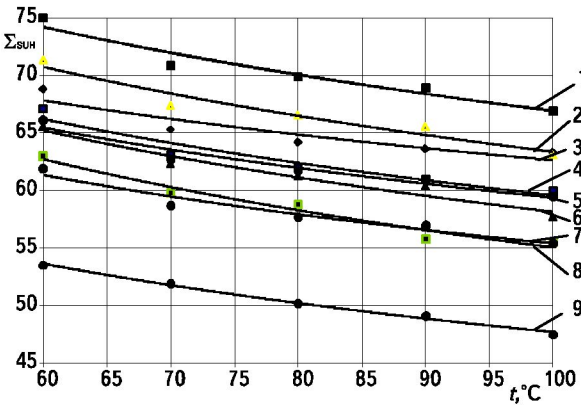
Аналіз проведених нами досліджень показав, що вміст загальних цукрів у плодах глуду залежить як від теплових навантажень і тривалості процесів сушіння, так і від видових та сортових особливостей цієї культури (рис. 3).

Важливим є те, що в процесі сушіння температура зовнішніх шарів продукту не повинна бути вищою за температуру випаровування. Перегрівання зовнішніх шарів може викликати карамелізацію цукрів, згіркнення і утворення на поверхні плодів тріщин.

Сушіння плодів глуду за температури сушильного агенту 60 °С і середній тривалості сушіння 642 хв. призводило до зниження вмісту цукрів у порівнянні із свіжими, в

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

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



середньому на 15,2 %. Найвищими за вмістом цукрів у цьому варіанті сушіння був глід Мейера і алма-атинський, відповідно 74,9 і 68,8 %, за тривалості сушіння 460 і 310 хв. Найнижчими — сорт Людмил та глід східний, відповідно 63,0 і 53,5 %, тривалість сушіння 836 і 780 хв.

З підвищенням температури сушильного агенту, незважаючи на скорочення тривалості процесу сушіння, вміст вуглеводів дещо знижувався, що може свідчити про започаткування процесів карамелізації. Найбільша різниця вмісту цукрів у сушених плодах спостерігається між варіантами сушіння за температури різниці вмісту цукрів у сушених плодах спостерігається між варіантами сушіння за температури сушильного агенту 60 — 70 °С. Так, за температури сушильного агенту 70 °С і тривалості сушіння 602 хв. вміст цукрів, в середньому, знизився на 19,4 %. У варіанті сушіння плодів за температури сушильного агенту 80 °С і тривалості 562 хв. вміст цукрів у порівнянні із свіжими знизився на 20,8 %. У цьому варіанті сушіння у глуду Мейера вміст цукрів склав 69,9 %, у глуду алма-атинського — 66,5 %. У сорту Людмил — 58,8 % і у глуду східного — 50,2 %. З підвищенням температури сушильного агенту до 90 — 100 °С, за рахунок скорочення тривалості процесу сушіння (511 — 457 хв.), вміст цукрів між цими варіантами залишався майже незмінним. Тобто, втрати цукрів становили лише 2,5 %. Тоді як порівняно із свіжими плодами їх вміст знизився, відповідно на 22,2 і 24,2 %.

Встановлено, що отримання сушеної сировини високої якості за допомогою конвективного методу сушіння можливо досягти лише за використання граничної температури сушіння не вище 90 °С. Здійснювати нижче 70 °С економічно не доцільно.

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

глід Мейера — $\sum_{\text{SUH}} = 169,4 t^{-0,2}$, $R^2 = 0,949$;
 глід алма-атинський — $\sum_{\text{SUH}} = 170,8 t^{-0,215}$, $R^2 = 0,949$;
 Шаміль — $\sum_{\text{SUH}} = 128,58 t^{-0,156}$, $R^2 = 0,866$;
 глід східний — $\sum_{\text{SUH}} = 153,8 t^{-0,206}$, $R^2 = 0,93$;
 Людмил — $\sum_{\text{SUH}} = 142,7 t^{-0,19}$, $R^2 = 0,947$;
 Збігнев — $\sum_{\text{SUH}} = 163,57 t^{-0,225}$, $R^2 = 0,96$;
 Мао Мао — $\sum_{\text{SUH}} = 178,1 t^{-0,255}$, $R^2 = 0,96$;
 Китайський — $\sum_{\text{SUH}} = 138,65 t^{-0,2}$, $R^2 = 0,95$;
 Глід одноматочковий — $\sum_{\text{SUH}} = 137,24 t^{-0,23}$, $R^2 = 0,99$;

\sum_{SUH} — кількості вуглеводів у плодах глоду, %; t — температура теплоносія, °C; R^2 — середньоквадратичне відхилення.

Важливим критерієм цінності плодів глоду 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 [3].

Відомо, що 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 [4].

Аскорбінова кислота відноситься до водорозчинних речовин (вітамінів), але під дією будь-якої теплової обробки, у тому числі при сушінні, швидко окислюється. Відомо, що плоди глоду переробляються протягом тривалого часу після збирання врожаю. У зв'язку із чим гостро постало питання вивчення збереженості вітаміну С у плодах після процесу переробки [5]. В проведених експериментальних дослідженнях при різних температурах і методах сушіння, а також у заданому інтервалі часу, досліджували зміну вмісту аскорбінової кислоти, як найбільш термолабільного показника вітамінної цінності глоду.

Як видно з рис. 4, зниження вмісту аскорбінової кислоти в процесі зневоднення відмічено у всіх досліджуваних сортах і видах глоду в залежності від застосування різних температур сушильного агенту.

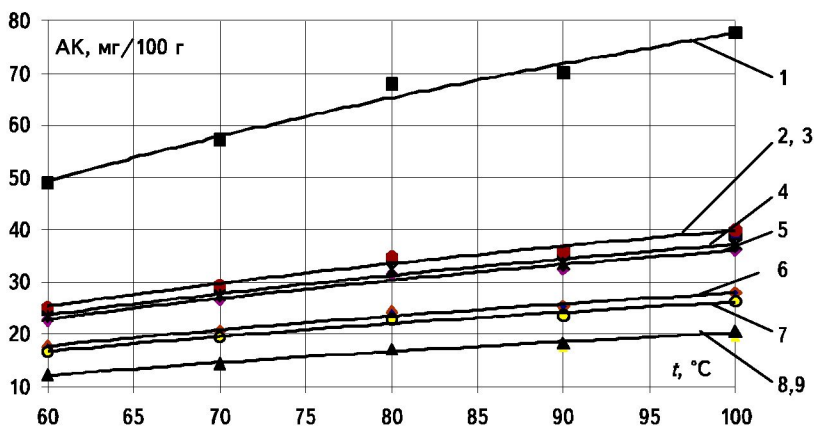


Рис. 4. Вміст аскорбінової кислоти в плодах глоду, висушених конвективним методом, мг/100 г: 1 — глід одноматочковий; 2,3 — глід східний, Людмил; 4 — Мао Мао; 5 — глід Мейера; 6 — Шаміль; 7 — Китайський; 8,9 — Збігнев, глід алма-атинський

Так, при конвективному підведенні теплоти вміст аскорбінової кислоти в сушених плодах зростає із збільшенням температури сушильного агенту. Значне скорочення тривалості сушіння, в середньому по сортах і видах від 642 до 457 хв., зменшує теплову дію на сировину і за рахунок цього сприяє кращому збереженню аскорбінової кислоти.

За температури сушильного агенту 60 °C і тривалості сушіння 642 хв. зафіксовано найвищий ступінь руйнування вітаміну С у порівнянні із свіжими плодами. В середньому по сортах і видах вміст аскорбінової кислоти знизився на 83 %.

Апроксимуючи дослідні дані, одержали логарифмічні рівняння залежності аскорбінової кислоти в плодах глоду від температури теплоносія:

Глід одноматочковий — $AK = 55,4 \ln(t) - 177,5$, $R^2 = 0,98$;

глід східний, Людмил — $AK = 28,5 \ln(t) - 91,4$, $R^2 = 0,98$;

Мао Мао — $AK = 26,5 \ln(t) - 84,6$, $R^2 = 0,984$;

глід Мейера — $AK = 25,84 \ln(t) - 82,9$, $R^2 = 0,98$;

Шаміль — $AK = 19,93 \ln(t) - 63,8$, $R^2 = 0,98$;

Китайський — $AK = 18,5 \ln(t) - 59$, $R^2 = 0,98$;

Збігнев, глід алма-атинський — $AK = 15,9 \ln(t) - 53$, $R^2 = 0,99$.

AK — вміст аскорбінової кислоти в плодах глоду, висушених конвективним методом, мг/100 г; t — температура теплоносія, °C; R^2 — середньоквадратичне відхилення.

Із даних джерел наукової літератури відомо, що завдяки вмісту біологічно активних речовин глід 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 глоду з високим вмістом цих сполук. При переробці плодів глоду проходить ферментативне і не ферментативне окислення біофлавоноїдів. Особливо активно ферментативне окислення фенольних сполук киснем повітря проходить при переробці плодів методом сушіння. На заключних етапах технологічної переробки сировини протікають неферментативні процеси. Встановлено, що незначне окислення фенольних сполук дозволяє покращити органолептичні показники кінцевого продукту. Харчова цінність продуктів переробки (сушених плодів глоду) обумовлюється ступенем збереженості природних компонентів, зниженням їх втрат і перетворень під дією низки зовнішніх і внутрішніх факторів під час зневоднення. Збереження кольору, характерного для даного виду сировини, свідчить про досконалість технологічного процесу, а будь-які зміни кольору — розпад, деструкцію біологічно активних речовин і, як наслідок, накопичення шкідливих. Тому, мета нашої роботи полягала у дослідженні окислювальних перетворень біофлавоноїдів плодів глоду та вивченні можливості їх стабілізації при технологічній переробці за використання різних методів та режимних параметрів сушіння.

Під час проведення експериментальних досліджень, у заданому інтервалі часу, послідовно встановлювали зміну загальної кількості поліфенольних сполук. Нами встановлено, що при сушінні плодів глоду втрати поліфенольних сполук можуть бути досить високими. Проте, підібрані методи і режимні параметри процесів сушіння дозволяють суттєво знизити втрати цих важливих антиоксидантів (рис. 5).

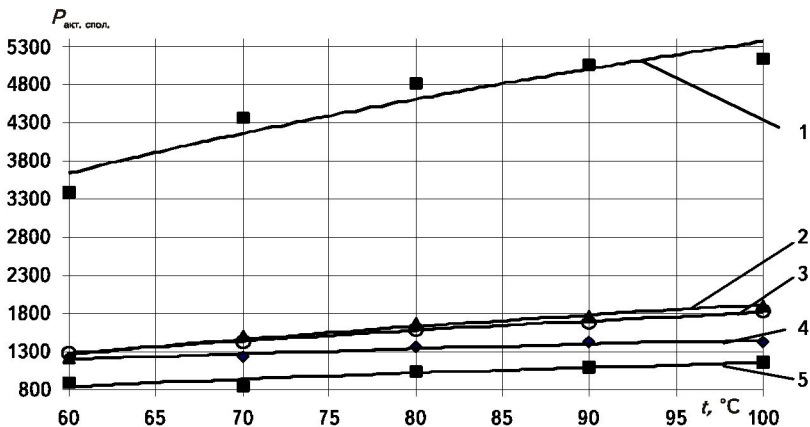


Рис. 5. Вміст загальної кількості поліфенолів у плодах глоду висушених конвективним методом, мг/100 г: 1 — глід одноматочковий; 2 — глід алма-атинський; 3 — Збігнев; 4 — Шаміль; 5 — Людмил

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

Глід одноматочковий — $P_{\text{ак. спол.}} = 3376 \ln(t) - 10184$, $R^2 = 0,906$;

глід алма-атинський — $P_{\text{ак. спол.}} = 1047 \text{ Ln}(t) - 3006, R^2 = 0,949$;

Збігнев — $P_{\text{ак. спол.}} = 1274 \text{ Ln}(t) - 3954, R^2 = 0,97$;

Шаміль — $P_{\text{ак. спол.}} = 501 \text{ Ln}(t) - 855, R^2 = 0,938$;

Людмил — $P_{\text{ак. спол.}} = 611 \text{ Ln}(t) - 1659, R^2 = 0,947$;

$P_{\text{ак. спол.}}$ — кількість поліфенолів у плодах глоду, %; t — температура теплоносія, °C; R^2 — середньоквадратичне відхилення.

Аналіз проведених нами досліджень показує, що різке зменшення вмісту поліфенольних сполук у порівнянні із свіжими плодами відбувається при сушінні плодів глоду за низьких температур сушильного агенту — 60 і 70 °C. Так, за температури сушильного агенту 60 °C, загальна кількість поліфенольних сполук становила в середньому 1600 мг/100 г, що на 58 % нижче від вмісту у свіжих плодах. Найбільший вміст загальної кількості поліфенольних сполук у цьому варіанті сушіння був у глоду одноматочкового та сорту Збігнев, відповідно 3398 і 1284 мг/100 г, найнижчий — у глоду алма-атинського та сорту Шаміль та Людмил, відповідно 1214 та 891 мг/100 г, у варіанті сушіння плодів за температури сушильного агенту 70 °C і тривалості, в середньому 465. Так, у глоду одноматочкового де вміст загальної кількості поліфенолів був найвищий, у варіанті сушіння за температури сушильного агенту 70 °C і тривалості сушіння 254 хв., вміст поліфенолів збільшився, порівняно із попереднім варіантом сушіння, на 28,2 %. У варіанті за температури 80 °C і тривалості 222 хв. — на 41,7 %, за 90 °C і тривалості сушіння 180 хв. — на 49,2 % і, у варіанті сушіння за температури теплоносія 100 °C і тривалості 164 хв. — на 51,2 %.

У сорту Людмил, де вміст загальної кількості поліфенольних сполук був найменшим, спостерігалася аналогічна тенденція: із збільшенням температури сушильного агенту збільшувався вміст загальних поліфенолів. Зокрема, при зневодненні за температури сушильного агенту 60 °C і тривалості процесу сушіння 836 хв., загальна кількість поліфенольних сполук становила 891 мг/100 г, за температури 70 °C і тривалості сушіння 785 хв. — 949 мг/100 г, за 80 °C і тривалості сушіння 739 хв. — 1049 мг/100 г, за температури 90 °C і тривалості 680 хв. — 1104 мг/100 г, та за температури 100 °C і тривалості 619 хв. — 1157 мг/100 г.

Висновок. Встановлено доцільність використання конвективного сушіння для різних сортів і видів глоду.

ЛІТЕРАТУРА

1. Скорикова Ю.Г. Полифенолы плодов и ягод и формирование цвета продуктов / Ю.Г. Скорикова. — М.: Пищевая промышленность, 1973. — 203 с.
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. Рязанова О.А. Биохимический состав ягод боярышника, произрастающего в Кемеровской области / О.А. Рязанова, Ю.В. Третьякова // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2005. — №6. — С. 56 — 57.
4. Гудковский В.А. Антиокислительные (целебные) свойства плодов и ягод и прогрессивные методы их хранения / В.А. Гудковский // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2001. — №4. — С. 13 — 19.
5. 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.

Одержана редколегією 10.09.2011 р.