

УДК 664.8.047.014

Снежкин Ю.Ф., Петрова Ж.А., Пазюк В.М.

Институт технической теплофизики НАН Украины

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ СУШКИ НА КИНЕТИКУ И ПОЛУЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ, АНТИОКСИДАНТНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ

Отримання антиоксидантних порошків полягає в комбінуванні білковомісних та каротиномісних рослинних матеріалів, дослідження з сушіння яких наведені в статті.

Получение антиоксидантных порошков заключается в комбинировании белковосодержащих и каротиносодержащих растительных материалов, исследования по сушке которых приведены в статье.

Production of antioxidant powders is combined protein and contain carotene-containing and of plant materials, research on drying of which is given to in article.

$d$  – влагосодержание воздуха, г/кг сух. возд.;

$N$  – максимальная скорость сушки, %/мин;

$t$  – температура сушильного агента, °С;

$V$  – скорость сушильного агента, м/с;

$W^c$  – влагосодержание материала, %;

$\delta$  – толщина слоя материала, мм;

$\tau$  – продолжительность процесса сушки, с;

с. в. – сухой воздух.

### Индексы:

$n$  – начальная.

С общим ускорением темпов жизни, основными факторами, которые стимулируют появление новых пищевых продуктов, есть стремление людей к здоровому способу жизни, который включает и рациональное питание. Функциональные пищевые продукты удовлетворяют эти потребности.

Производство функциональных пищевых продуктов состоит в том, чтобы максимально полезно комбинировать функциональные ингредиенты в одном продукте. Поэтому и производство функциональных пищевых продуктов нельзя вести независимо от первичной (просто пищевой) и вторичной (сенсорной или познавательной) функции пищевых продуктов [1].

Концентрация необходимых полезных веществ в одном продукте способна обогатить пищевой рацион человека или воздействовать на его здоровье. По заключениям медиков, увеличение потребления пищевых антиоксидантов, таких как витамин Е, С,  $\beta$ -каротин и селен снижает развитие таких двух опасных заболеваний как сердечно-сосудистые и онко-заболевания. Активными компонентами овощей и фруктов являются антиоксиданты [2].

Потенциальным сырьём для производства

антиоксидантных функциональных продуктов могут быть такие растительное сырьё как морковь, бобовые, зерновая крупа. Каротиноиды лучше усваиваются организмом в высушенном виде, поэтому для производства антиоксидантных продуктов в данном случае использовали сушку растительных материалов.

Провитамин  $\beta$ -каротин превращается в организме человека в витамин А в присутствии белков и жиров, поэтому важно создать такой продукт, в котором были бы соединены все эти вещества. Таким требованиям отвечают комбинированные продукты в состав которых входят белки, жиры и каротиноиды, которые относятся к антиоксидантным продуктам.

Процессом, который обеспечивает стойкость и продолжительность хранения пищевых продуктов и способствует замедлению роста микроорганизмов, является сушка.

Современные технологии сушки базируются на максимально возможной сохранности основных ингредиентов исходного растительного сырья.

Антиоксидантное сырьё, как объект сушки, очень сложное по своей структуре, физико-химическому и биохимическому составу. Поэтому эффективный режим обезвоживания

определяется температурой, максимально-допустимой для данного материала, и минимальной продолжительностью сушки. Гранично-допустимая температура сушки антиоксидантной смеси определяется свойствами белков и каротиноидов, биологическая ценность которых снижается во время интенсивной тепловой обработки [3].

Для сушки функциональных пищевых продуктов было взято антиоксидантное растительное сырье на основе моркови и белкового сырья и составлены следующие композиции: овсяно-морковный, сельерно-морковный, горохово-морковный и фасолево-морковный в пропорциях 1:2 на сырой вес. У моркови, овсянки и бобовых различная начальная влажность, что в свою очередь влияет на содержание каротиноидов и длительности процесса сушки в сторону увеличения при существенном преобладании моркови в смеси. Соотношение компонентов моркови и белково- и овсяно-содержащих смесей в пропорции 1:2 является оптимальным с точки зрения входящих в них полезных составляющих и технологичности процесса.

Сушка антиоксидантного растительного сырья производилась на конвективной сушилке с регистрацией температуры сушильного агента, изменением массы образца и энергетических затрат на сушку.

Кинетику процесса сушки антиоксидантного растительного сырья проводили при температуре сушильного агента 70, 100 °С и ступенчатого режима 100/70 °С. Сушку растительных продуктов проводили в слое 10 мм с начальным влагосодержанием смеси 270 %, скорость воздуха в сушильной камере составляла 1,5 м/с.

Ранее нами проводились исследования по сушке каротиносодержащего сырья моркови и тыквы. Оптимальной температурой сушки моркови является 70 °С и ступенчатый режим 100/70 °С. Поэтому для антиоксидантного сырья, основу которого составляет морковь выбираем аналогичные режимы сушки.

Антиоксидантное сырьё на основе овса, гороха и фасоли содержит от 20 до 32 % белка, в

процессе переработки такого сырья происходит неферментативный браунинг. Реакция между свободными аминогруппами, белками, пептидами и карбонильными группами свободного сахара называется реакцией Майлярда. Реакция Майлярда является основной реакцией, которая отвечает за качество белков, т.е. приводит к уменьшению усвояемости белков и аминокислот [4,5].

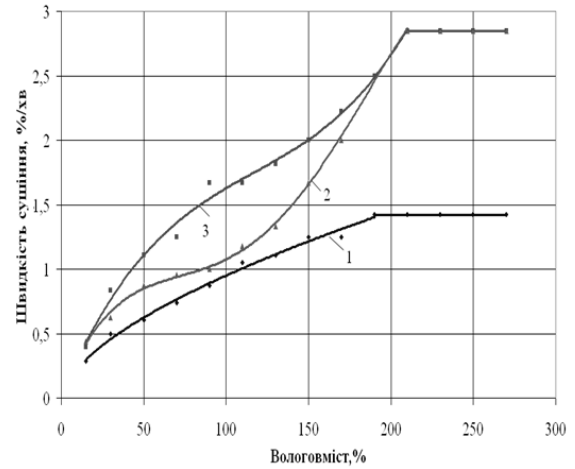
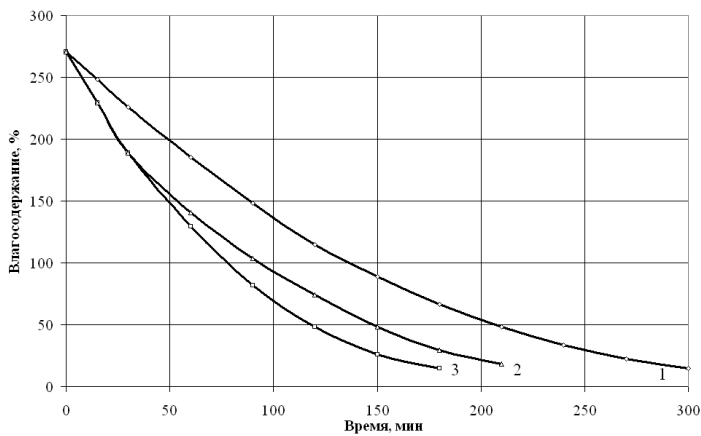
Во время продолжительного влияния температуры на макромолекулу белка происходит его денатурация и взаимосвязь сахаров с аминокислотами. Промежуточный этап этой реакции характеризуется образованием азотсодержащих коричневых полимеров, известных как меланоиды. Температурным порогом, после которого происходит неферментативный браунинг, есть температура материала 70 °С. Поэтому сушку антиоксидантного сырья проводили при температуре, которая максимально сохраняет белки и каротиноиды.

Результаты экспериментальных исследований сушки антиоксидантного сырья от влияния температуры сушильного агента представлены на рис. 1.

Кривые скорости сушки показывают, что с увеличением температуры сушильного агента интенсивность процесса увеличивается. Продолжительность сушки антиоксидантных материалов при температуре 100 °С уменьшается на 67 % по сравнению с продолжительностью процесса при температуре 70 °С.

Также был предложен ступенчатый режим сушки, при котором температура сушильного агента изменяется в процессе. В начале сушки температура сушильного агента 100 °С, через 30 мин. После сушки температуру понижают до 70 °С и поддерживают на таком уровне до конца процесса. Ступенчатый режим сушки позволяет сократить продолжительность сушки, в сравнении с температурой 70 °С, на 37,5 %.

Кривые скорости сушки антиоксидантного сырья показывали, что в начале процесса присутствует период постоянной скорости сушки на протяжении 30 мин. (рис. 1, б), а потом скорость сушки снижается. Так скорость сушки



а)

б)

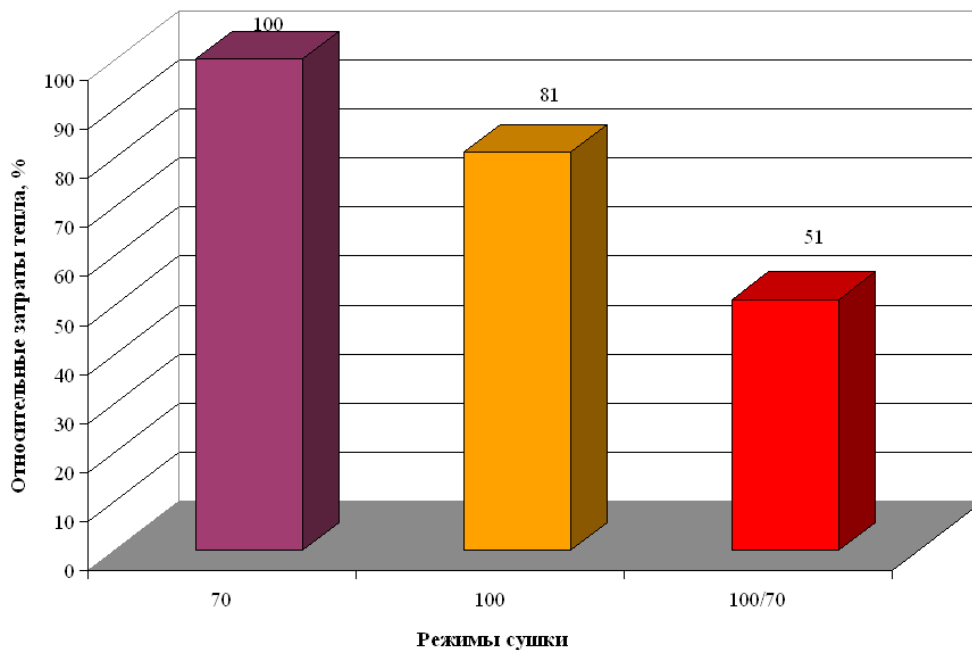
**Рис. 1. Кривые сушки та скорости сушки антиоксидантной смеси на конвективной сушилке лоткового типа при температуре сушильного агента: 1 – 70 °С, 2 – 100/70 °С, 3 – 100 °С при  $W_n^c = 270 \%$ ;  $V = 1,5 \text{ м/с}$ ;  $\delta = 10 \text{ мм}$ ;  $d = 10 \text{ г/кг с. в.}$**

при температуре сушильного агента 100 °С и в ступенчатом режиме в первом периоде сушки по сравнению с температурой 70 °С увеличивается в 1,8 раза.

Ступенчатый режим сушки, как видно из кривых сушки (рис. 1), протекает медленнее чем при температуре 100 °С на 25 %, однако

удельные затраты меньше на 21 % и на 29 %, чем при режиме 70 °С (рис. 2).

Уменьшение удельных затрат в ступенчатом режиме объясняется тем, что энергия максимально используется на испарение влаги из материала и минимально – на нагрев материала.



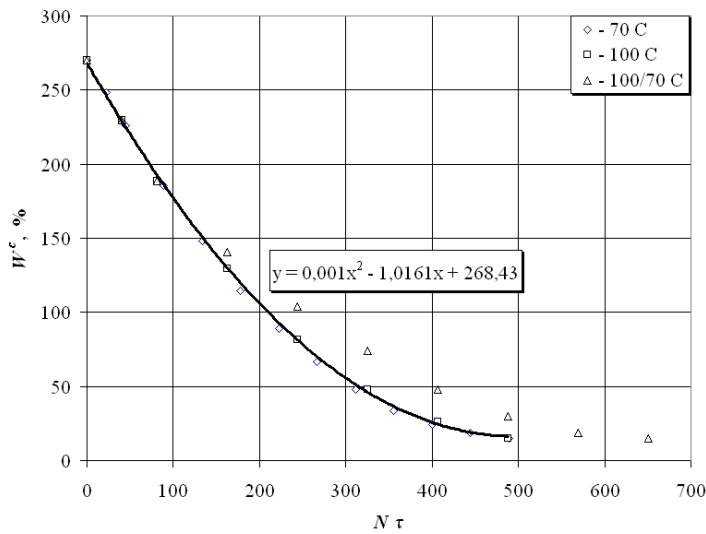
**Рис. 2. Удельные затраты тепла в зависимости от режима сушки: 1 – 70 °С, 2 – 100/70 °С, 3 – 100 °С при  $W_n^c = 270 \%$ ;  $V = 1,5 \text{ м/с}$ ;  $d = 10 \text{ г/кг с. в.}$**

Определение длительности процесса сушки проводились по методам обобщенных кривых сушки, разработанных В.В. Красниковым и В.А. Даниловым [6].

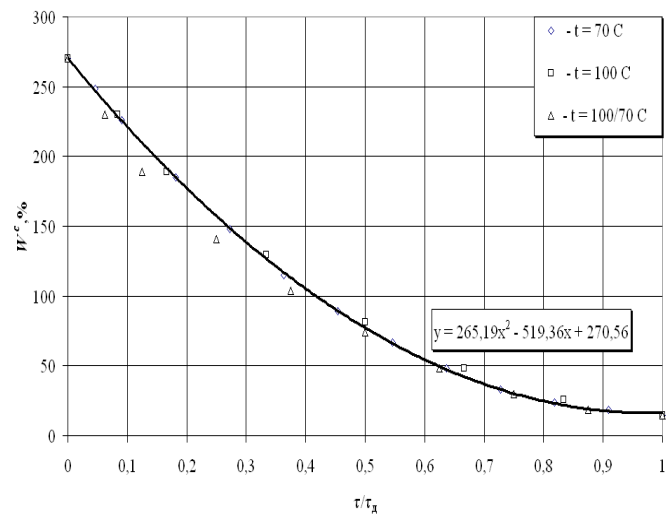
По методу Красникова В.В. определена длительность при режимах сушки 70 °С и 100 °С. Метод, основанный на определении максимальной скорости сушки, построен в системе координат  $W^c - (N_{\max} \cdot \tau)$  и трансформируется в одну обобщенную кривую сушки антиоксидантной смеси (рис. 3, а).

Продолжительность процесса сушки для режимов сушки 70 °С и 100 °С определяется по обобщенной кривой сушки. Для этого, найдено с обобщенной кривой сушки (рис. 3, а) по заданной величине  $W$  величину  $N \cdot \tau$  и делением его на максимальную скорость сушки, которая соответствует необходимому режиму сушки, необходимое время обезвоживания:

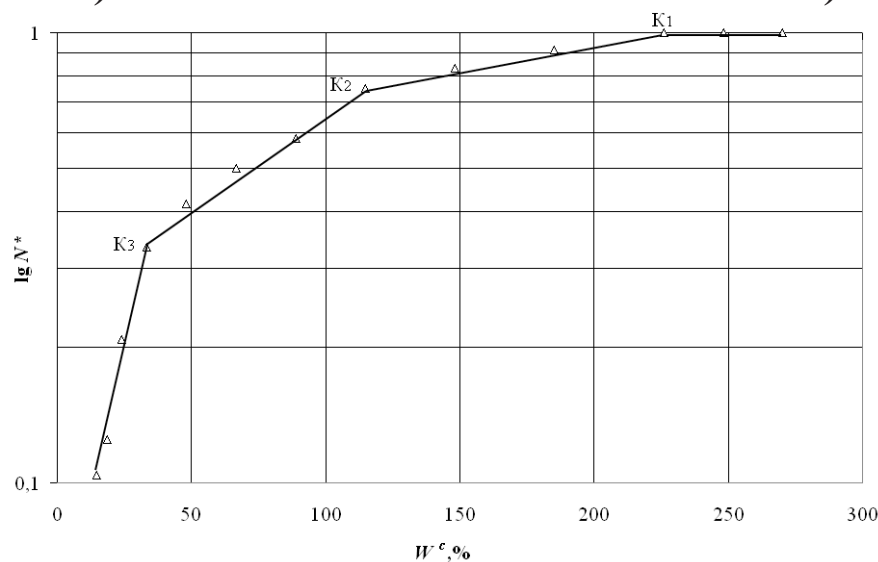
$$\tau_d = N \cdot \tau / N = 487,8 / N. \quad (1)$$



а)



б)



в)

**Рис. 3. Обобщенная кривая сушки антиоксидантной смеси в системах координат  $W^c - (N \cdot \tau)$  (а) и  $W^c - (\tau / \tau_d)$  (б) и обобщенная кривая скорости сушки в полулогарифмической системе координат  $lg N^* - W^c$  (в).**

Для получения обобщенной кривой для режимов сушки 70 °С и 100 °С и ступенчатого режима сушки 100/70 °С, длительность процесса определялась по методу, предложенному В.А. Даниловым. На рис. 3, б изображена обобщенная кривая сушки антиоксидантной смеси в системе координат  $W^c - (\tau/\tau_d)$ . Обобщенные кривая сушки в режимах сушки 70 и 100 °С хорошо совпадают, а при ступенчатом режиме 100/70 °С вначале сушки есть небольшое отклонение.

Используя обобщенную кривую кинетики сушки антиоксидантной смеси в системе координат  $W^c - (\tau/\tau_d)$ , необходимо знать одно значение  $W^c$  и соответственное время  $\tau$ . Тогда с обобщенной кривой скорости сушки для этого  $W^c$  находим отношение  $(\tau/\tau_d)_w$ , по которому определяем продолжительность сушки  $\tau_d$  по формуле:

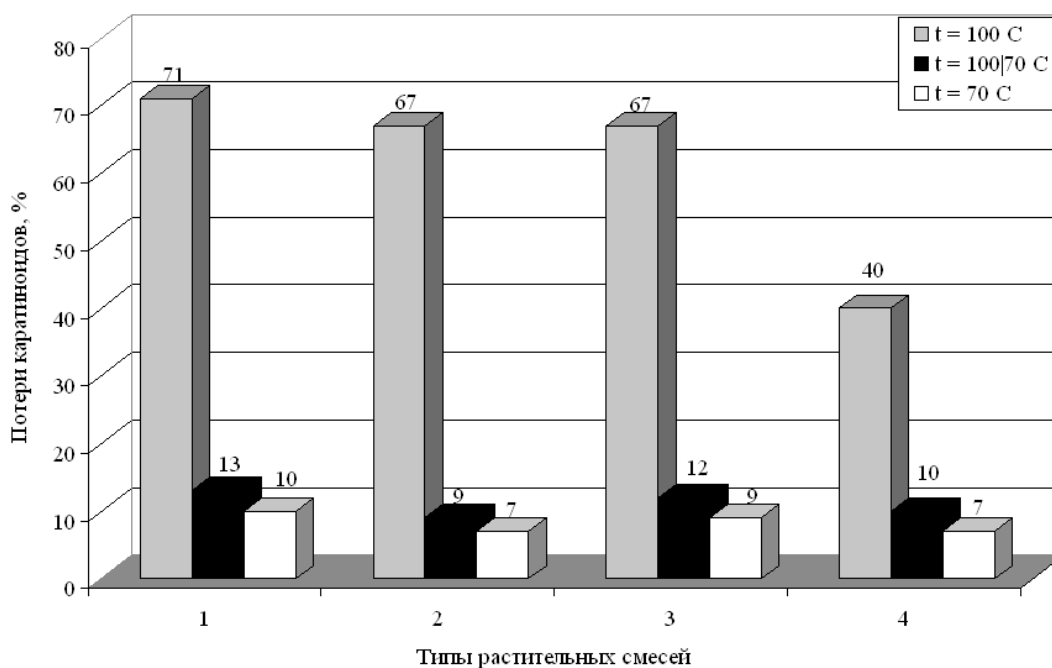
$$\tau_d = \tau / (\tau/\tau_d)_w \quad (2)$$

Графическое дифференцирование обобщенной кривой кинетики сушки антиоксидантной смеси (рис. 3, б), позволило получить

обобщенную кривую скорости сушки в логарифмических координатах от влагосодержания материала (рис. 3, в). На кривой скорости сушки отчетливо видно участок постоянной скорости сушки и участок падающей скорости сушки, состоящей из 3-х частей второго периода, отмеченные критическими точками  $K_1, K_2, K_3$ .

Выбор режима сушки антиоксидантного растительного сырья зависит не только от удельных затрат на сушку, но и от качественных характеристик, что определяется зависимостью сохранности каротиноидов от режимов сушки (рис. 4).

Повышение температуры сушильного агента до 100 °С ведёт к увеличению температуры материала, что приводит к увеличению потерь каротиноидов (визуально видно, что на поверхности смеси образуется коричневатый оттенок). Это характерный признак образования меланоидов, что свидетельствует о плохом качестве продукта. Наибольшие потери в смеси овсяно-морковной 71 %, смеси сельдерейно-морковной и фасолево-морковной 67 %, а в горохово-морковной – 40 %.



**Рис. 4. Потери каротиноидов в зависимости от температуры сушильного агента при сушки следующих растительных смесей: 1 – овсяно-морковный; 2 – сельдерейно-морковный; 3 – фасолево-морковный; 4 – горохово-морковный.**

Наилучшие результаты сохранения каротиноидов после сушки, для антиоксидантного растительного сырья, получены при тепловом режиме 70 °С и ступенчатом режиме 100/70 °С при этом потери составляют всего 7...13 % (отенок смеси после сушки существенно не отличается от исходной).

Как видно из проведенных исследований по сушке каротиносодержащего сырья на основе моркови, жиро- и белковосодержащих бобов и овсянки, потери каротиноидов составляют 7...10 % при режиме 70 °С и 9 ...13 % при ступенчатом режиме 100/70 °С.

Известно, что каротиноиды – термолабильные вещества, они легко разрушаются под действием температуры, воздуха и света [7]. Каротиноиды, как ненасыщенные углеводороды с достаточно длинной цепью конъюгированных двойных связей, самоокисляются на воздухе и свете, легко расщепляются под действием различных окислительных агентов [7].

Процесс действия ферментов уменьшается за счёт гигротермической обработки материала [8]. После предварительной гигротермической обработки каротиносодержащего сырья проводят сушку с оптимизацией процесса за счёт использования ступенчатых режимов. В результате чего происходит сохранение каротиноидов на 87...90 %, сокращается продолжительность сушки на 37,5 % и энергетические затраты на 21...29 %.

### Выводы

1. Сушка антиоксидантного сырья по ступенчатому режиму 100/70 °С позволяет сократить продолжительность процесса по сравнению с температурой 70 °С на 37,5 %, сохранив высокое содержание каротиноидов.

2. Ступенчатый режим сушки 100/70 °С протекает медленнее чем при температуре 100 °С на 25 %, однако удельные затраты энергии меньше на 21 % и на 29 % меньше, чем при режиме 70 °С.

3. При сушке каротиносодержащего сырья на основе моркови, жиро- и белковосодержащих бобов и овсянки, потери каротиноидов

составили 7...10 % при режиме 70 °С и 9...13 % при ступенчатом режиме 100/70 °С.

4. Рекомендован ступенчатый режим сушки антиоксидантной смеси 100/70 °С. Этот режим позволяет уменьшить удельные затраты на сушку и сохраняет высокое содержание каротиноидов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Scala J.* Making the Vitamin connection, the Food Supplement Story. – NY: Harper and Row, 1985.

2. *Gatenby S, Hunt P, Rayner V.* The National Food Guide: development of the dietetic criteria and nutritional characteristics. *J Hum Nutr Dietet* 1995; 8: p.p. 323 – 334.

3. *Снежкін Ю.Ф.* Теплообмінні процеси під час одержання каротиновмісних порошків / Ю.Ф. Снежкін, Ж.О. Петрова – К.: Академперіодика, 162 с.

4. *Marshall MR, Kim J, Wei C-I.* 2000. Enzymatic browning in Fruits, Vegetables and Seafoods. <http://www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/ags/Agsi/ENZYMEDI>

5. *Fennema O.R.* 1976. In: OR Fennema, editor, Principles of Food Science. New York, Marcel Dekker.

6. *Данилов В.А.* Высокоинтенсивная конвекционная сушка бумаги и картона / В.А. Данилов, В.В. Красников – М.: Колос, 1970. – 432 с.

7. *Лобов В.П., Петров И.А.* Хромопласты.- К.: Наукова думка, 1987. –125 с.

8. *Снежкін Ю.Ф., Михайлик Т.О., Хавін О.О., Петрова Ж.О.* Вплив гігротермічної обробки на зміну харчових та споживчих властивостей соєво-овочевих концентратів// Наукові праці Укр. держ. університету харчових технологій за матеріалами V11 Міжнародної конференції “Пріоритетні напрями впровадження в харчову промисловість сучасних технологій, обладнання та нових видів продуктів оздоровчого та спеціального призначення” № 1 – Київ, 2001. С. 66 – 67.

Получено 18.06.2012 г.