

УДК 664.86

Подбор температурного режима сублимационного обезвоживания спирулины

Д-р техн. наук В. А. ЕРМОЛАЕВ

ermolaevvla@rambler.ru

Российский экономический университет им. Плеханова

Сухая спирулина используется в различных отраслях промышленности как биологически ценный продукт. Как правило, после сбора спирулина подвергается сушке для дальнейшего измельчения в порошок или производства сухих таблеток. Наиболее перспективным способом сушки спирулины является сублимационный метод обезвоживания. Данная работа направлена на подбор эффективных режимов сублимационной сушки спирулины. Проведены опыты по сублимационному обезвоживанию спирулины при различной температуре досушивания. В ходе исследований была установлена продолжительность сублимационной сушки спирулины: 14 ч при температуре досушивания 30 °С; 13 ч при температуре досушивания 35 °С; 12,5 ч при температуре досушивания 40 °С и 12 ч при температуре досушивания 45 °С. Установлено влияние температуры досушивания на витаминный состав спирулины. Наибольшее изменение степени сохранности витаминов наблюдалось при увеличении температуры досушивания от 40 до 45 °С. Проведен анализ спирулины на содержание некоторых микроэлементов до и после сушки. Установлено, что минеральные вещества спирулины практически в полной мере сохраняются: степень повышения концентрации микро- и макроэлементов соответствовала степени удаления влаги. Результаты анализа органолептических свойств показали отсутствие какого-либо заметного влияния температуры досушивания на качество сухой спирулины. На основании проведенных исследований была установлена эффективная температура досушивания, которая составила 40 °С. Представленные результаты могут быть полезны работникам пищевой промышленности при разработке новых технологических режимов.

Ключевые слова: сублимационная сушка, спирулина.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 14.10.2019, принята к печати 15.01.2020

DOI: 10.17586/1606-4313-2020-19-1-84-88

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Ермолаев В. А. Подбор температурного режима сублимационного обезвоживания спирулины // Вестник Международной академии холода. 2020. № 1. С. 84–88.

Selection of the temperature regime for freeze-drying spirulina

D. Sc. V. A. ERMOLAEV

ermolaevvla@rambler.ru

Plekhanov Russian University of Economics

Dry spirulina is used in various industries as a biologically valuable product. Generally, after collection, spirulina is dried for further pulverization or the production of dry tablets. The most promising method of drying spirulina is the sublimation dewatering method. This work is aimed at selection of effective modes of freeze drying of spirulina. Experiments were carried out on sublimation dehydration of spirulina at different drying temperature. In the course of the studies, the duration of freeze drying of spirulina was determined: 14 hours at an additional drying temperature of 30 °C; 13 h at additional drying temperature 35 °C; 12.5 hours at an additional drying temperature of 40 °C and 12 hours at an additional drying temperature of 45 °C. The effect of the pre-drying temperature on the vitamin composition of spirulina has been established. The largest change in the degree of vitamin preservation was observed with an increase in the drying temperature from 40 to 45 °C. Spirulina was analyzed for some trace elements before and after drying. It has been found that spirulina minerals are almost fully preserved: the degree of increase in the concentration of micro- and macroelements was consistent with the degree of moisture removal. The results of the organoleptic analysis showed that there was no appreciable effect of the drying temperature on the quality of the dry spirulina. Based on the studies carried out, the effective drying temperature was determined to be 45 °C. The results presented can be useful to food workers, technologists and researchers.

Keywords: freeze-drying, spirulina.

Article info:

Received 14/10/2019, accepted 15/01/2020
 DOI: 10.17586/1606-4313-2020-19-1-84-88
 Article in Russian

For citation:

Ermolaev V. A. Selection of the temperature regime for freeze-drying spirulina. *Vestnik Mezhdunarodnoi akademii kholoda*. 2020. No 1. p. 84–88.

Введение

Спирулина является уникальным продуктом, известным человечеству уже не одну сотню лет. Многочисленные исследования, проводившиеся в ведущих медицинских учреждениях всего мира, доказали неоспоримую биологическую ценность спирулины для человека [1]. Широкий комплекс веществ данного продукта обуславливает его высокую функциональную активность. Спирулина обладает самыми разнообразными благоприятными свойствами [2]–[5]. Она используется для лечения и профилактики многих заболеваний [6]–[9]. Спирулина нашла применение в хлебобулочной промышленности [10]–[12], при производстве молочных продуктов [13] и различных функциональных напитков [14].

Влага, содержащаяся в спирулине, обуславливает необходимость в ее сушке для продления сроков хранения. В обезвоженном состоянии спирулина характеризуется длительными сроками годности и занимает мало места при транспортировке и хранении [15]. В процессе удаления влаги в спирулине концентрация сухих веществ повышается. Из табл. 1 видно, что сухая спирулина содержит большое количество белка — 60–70%, т. е. больше, чем в любой другой пище [3].

При сушке такого термолабильного продукта как спирулина немаловажным фактором является температура нагрева [16]. Из всех известных способов сушки сублимационное обезвоживание является одним из наиболее щадящих методов удаления влаги. Обезвоживание производится при остаточном давлении ниже тройной точки воды. Влага при этом из твердой фазы переходит

в газообразную, минуя жидкую фазу. Процесс осуществляется, как правило, при низких температурах.

Целью настоящей работы являлся подбор эффективных температурных режимов сублимационной сушки спирулины.

Экспериментальная часть

Для проведения экспериментальных исследований использовалась установка, схема которой приведена на рис. 1.

Установка содержит в себе 2 сушильные камеры, в каждой из которых размещается по 4 поддона с продуктом. Камеры с помощью трубопровода сообщаются с полостью десублиматора, где размещен испаритель холодильной машины. С помощью вакуум-насоса создается необходимое давление (порядка 100 Па). Влажный воздух, выходя из сушильных камер, проходит через десублиматор, где происходит вымораживание влаги на поверхности испарителя холодильной машины. Подвод теплоты к продукту осуществляется от инфракрасных ламп, которые размещены вертикально по периферии камер.

В экспериментальных исследованиях остаточное давление в рабочей камере было равно 40 Па, температура поверхности испарителя в десублиматоре — 45 °С, толщина слоя продукта — 10 мм. Сушку осуществляли до достижения конечной влажности продукта 4,0–4,5%.

Температура досушивания является одним из существенных факторов сушки. Как правило, при повышении температуры может несколько снижаться качество про-

Таблица 1

Биохимический состав сухой спирулины

Table 1

Dry spirulina biochemical composition

Массовая доля, %		Витамины, мг/кг	
Белок	60–70	В ₁	55
Углеводы	10–15	В ₂	35
Клетчатка	2,0	В ₆	3–8
Липиды	6,5–8,0	В ₁₂	1,6–3,2
Зола	7,5–8,0	Е	190
Полиненасыщенные жирные кислоты, %		β-каротин	1100–2400
Линолевая	1,1–1,4	Минеральные вещества, %	
γ-линоленовая	0,9–1,2	Калий	1,4
Пигменты, %		Кальций	0,12
Каротиноиды	0,22–0,40	Натрий	0,03
Хлорофилл	0,76–0,94	Магний	0,37
Фикоцианин	0,8–1,0	Фосфор	0,83
		Железо	0,05
		Цинк	0,003

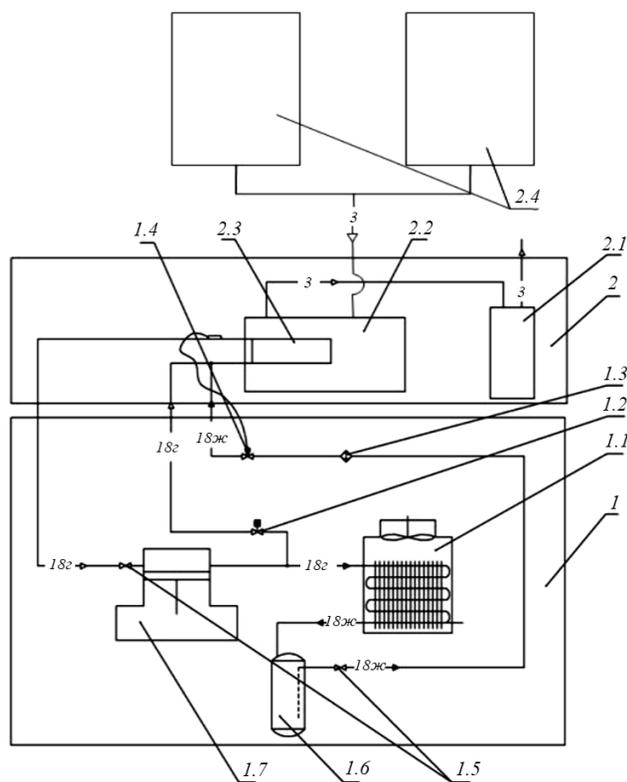


Рис. 1. Схема сублимационной сушильной установки: 1 — блок холодильной машины; 1.1 — конденсатор; 1.2 — регулирующий вентиль; 1.3 — фильтр-осушитель; 1.4 — терморегулирующий вентиль; 1.5 — запорные вентили; 1.6 — ресивер; 1.7 — компрессор; 2 — блок десублиматора; 2.1 — вакуум-насос; 2.2 — десублиматор; 2.3 — испаритель; 2.4 — сушильные камеры

Fig. 1. Freeze dehydration plant: 1 — refrigerating machine unit; 1.1 — condensator; 1.2 — control valve; 1.3 — dehydration filter; 1.4 — thermoregulating valve; 1.5 — shutoff valves; 1.6 — receiver; 1.7 — compressor; 2 — desublimator unit; 2.1 — vacuum pump; 2.2 — desublimator; 2.3 — evaporator; 2.4 — drying chambers

дукта, однако при этом сокращается продолжительность процесса.

Производили опыты по сублимационной сушке спирулины при различной температуре досушивания. Указанный параметр меняли в пределах от 30 до 45 °С с шагом в 5 град.

На рис. 2 и 3 представлены графики сублимационной сушки спирулины при температуре досушивания 45 °С.

Сублимационная сушка осуществляется в 2 этапа. На первом этапе происходит удаление основной части влаги путем ее сублимации. В течении первых 30 мин. в результате понижения давления продукт самозамораживается и его температура снижается до порядка минус 25 °С. Через 7,5 ч после завершения этапа сублимации включаются инфракрасные лампы и осуществляется второй этап — досушивание продукта.

Разница температуры между центром и поверхностью продукта не превышала 5 градусов, что обусловлено относительно малой толщиной слоя продукта.

В ходе исследований была установлена продолжительность сублимационной сушки спирулины: 14 ч. при температуре досушивания 30 °С; 13 ч при температуре

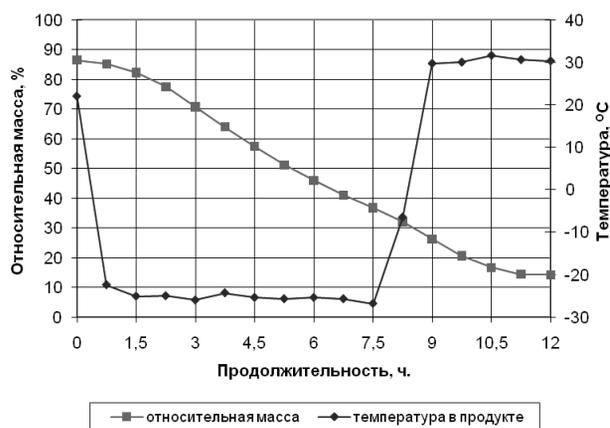


Рис. 2. Изменение температуры и относительной массы спирулины в процессе сублимационной сушки при температуре досушивания 45 °С

Fig. 2. The changes of spirulina temperature and weight fraction during freeze drying at an additional drying temperature of 45 °С

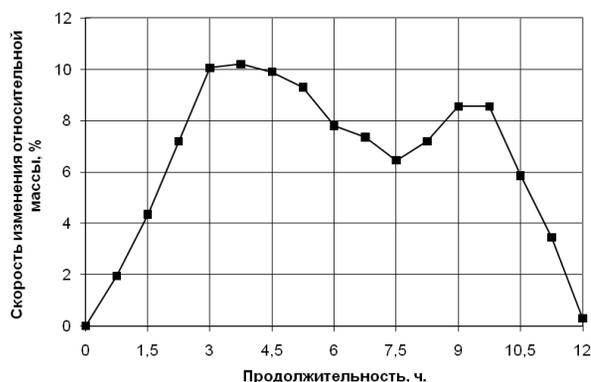


Рис. 3. Скорость изменения относительной массы спирулины в процессе сублимационной сушки при температуре досушивания 45 °С

Fig. 3. The change rate of spirulina weight fraction during freeze drying at an additional drying temperature of 45 °С

досушивания 35 °С; 12,5 ч при температуре досушивания 40 °С и 12 ч при температуре досушивания 45 °С.

При выборе температуры досушивания особую важность приобретает влияние нагрева на степень сохранности термолабильных веществ продукта. Для исследования данного вопроса был проведен анализ витаминного состава спирулины (табл. 2).

Увеличение содержания витаминов после сушки по абсолютной массе обусловлено повышением концентрации сухих веществ. Как и следовало ожидать, наибольшее изменение степени сохранности наблюдалось при увеличении температуры досушивания от 40 до 45 °С. Так, например, содержание тиамина при этом уменьшается на 40%.

Минеральные вещества наряду с ними также являются биологически-ценным компонентом, на который стоит обратить внимание. В процессе сушки могут происходить преобразования в микронутриентном составе, в том числе по массовой доле тех или иных микро — и макроэлементов. Поэтому в рамках исследований был проведен анализ спирулины на содержание некоторых микроэлементов до и после сушки. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 2

Витаминный состав спирулины до и после сублимационной сушки (на сухую массу)

Table 2

Spirulina vitamin content before and after freeze-drying (per dry mass)

Компонент	До сушки	После сушки при температуре досушивания			
		30°C	35°C	40°C	45°C
Тиамин, мкг/1 г	334	212	187	140	87
Рибофлавин, мкг/1 г	282	223	164	95	67
Аскорбиновая кислота, мкг/1 г	613	378	326	255	116
α-токоферол, мкг/1 г	288	221	214	208	179

Таблица 3

Массовая доля минеральных веществ спирулины до и после сушки (на сухую массу)

Table 3

Mass fraction of spirulina minerals before and after freeze-drying (per dry mass)

Показатель	До сушки	После сушки
Калий, мг/кг	1265	1256
Кальций, мг/кг	95	87
Натрий, мг/кг	53	43
Магний, мг/кг	547	450
Фосфор, мг/кг	796	772
Железо, мг/кг	67	64
Цинк, мг/кг	3,7	3,8

Выводы

Таким образом, были проведены исследования по сублимационной сушке спирулины.

Данные результатов исследования свидетельствуют о том, что из-за щадящих режимов сушки минеральные вещества исследуемых продуктов практически в полной мере сохраняются: степень повышения концентрации микро- и макроэлементов соответствовала степени удаления влаги.

Анализ органолептических свойств показал отсутствие какого-либо заметного влияния температуры досушивания на качество сухой спирулины. Исходя из вышесказанного можно рекомендовать обезвоживать спирулину при температуре досушивания 40 °С.

Установлена эффективная температура досушивания, которая составила 40 °С. Представленные результаты могут быть применены в пищевой промышленности при разработке новых технологических режимов.

Литература

References

1. Ермолаев В. А. Анализ эффективности сублимационной сушки спирулины // Материалы VIII Международной научно-технической конференции «Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке». СПб.: Университет ИТМО, 2019.
2. Soni R. A., Sudhakar K., Rana R. S. Spirulina — from growth to nutritional product: a review // *Trends in Food Science & Technology*. 2017. No. 69. p. 157–171.
3. Barka A. Physicochemical characterization of colored soluble protein fractions extracted from spirulina (spirulina platensis) / A. Barka, A. B. Amira, C. Blecker, F. Francis // *Food Science and Technology International*, 2018. Vol. 24, pp 651–663; doi:10.1177/1082013218786862
4. Cepoi L. Spirulina as a raw material for products containing trace elements / L. Cepoi, T. Chiriac, L. Rudi, S. Djur, V. Rudic, L. Zosim, V. Bulimaga, L. Batir, D. Elenciuc // In book: *Recent Advances in Trace Elements*. 2017. p. 403–420. DOI: 10.1002/9781119133780. ch19
5. Choopani A. Spirulina: a source of gamma-linoleic acid and its applications / A. Choopani, M. Poorsoltan, M. Fazilati, H. Salavati, A. M. Latifi // *Journal of Applied Biotechnology Reports*. 2016. No. 4 (3). p. 483–488.
6. Нехорошев М. В., Геворгиз Р. Г., Железнова С. Н. Спирулина — перспективный источник противоопухолевых соединений // Российский биотерапевтический журнал. 2018. Т. 17. № 5. С. 51–52.
1. Ermolaev V. A. Analysis of the effectiveness of freeze-drying of spirulina. Materials of the VIII International scientific and technical conference «Low-temperature and food technologies in the XXI century». SPb.: ITMO University, 2019. (in Russian)
2. Soni R. A., Sudhakar K., Rana R. S. Spirulina — from growth to nutritional product: a review. *Trends in Food Science & Technology*. 2017. No. 69. p. 157–171.
3. Barka A. Physicochemical characterization of colored soluble protein fractions extracted from spirulina (spirulina platensis) / A. Barka, A. B. Amira, C. Blecker, F. Francis. *Food Science and Technology International*, 2018. Vol. 24, pp 651–663; doi:10.1177/1082013218786862
4. Cepoi L. Spirulina as a raw material for products containing trace elements / L. Cepoi, T. Chiriac, L. Rudi, S. Djur, V. Rudic, L. Zosim, V. Bulimaga, L. Batir, D. Elenciuc. In book: *Recent Advances in Trace Elements*. 2017. p. 403–420. DOI: 10.1002/9781119133780. ch19
5. Choopani A. Spirulina: a source of gamma-linoleic acid and its applications / A. Choopani, M. Poorsoltan, M. Fazilati, H. Salavati, A. M. Latifi. *Journal of Applied Biotechnology Reports*. 2016. No. 4 (3). p. 483–488.
6. Nekhoroshev M. V., Gevorgiz R. G., Zheleznova S. N. Spirulina — a promising source of antitumor compounds. *Russian Biotherapeutic Journal*. 2018. Vol. 17. No. 5. p. 51–52. (in Russian)

7. Пилипенко Т. В. Функциональные продукты питания для профилактики йоддефицитных заболеваний // Проблемы экономики и управления в торговле и промышленности. 2014. № S1. С. 73–77.
8. Soni R. A., Sudhakar K., Rana R. S. Spirulina — from growth to nutritional product: a review // Trends in Food Science & Technology. 2017. No. 69. p. 157–171.
9. Никифоров-Никишин Д. Л., Тараканова В. В., Головачева Н. А. Водоросли как экологический и возобновляемый биологический источник питания // Дельта науки. 2019. № 1. С. 16–18.
10. Иванова З. А., Тхазеплова Ф. Х. Влияние спирулины на показатели качества хлебобулочных изделий из ячменной и пшеничной муки // Успехи современной науки и образования. 2016. Т. 5. № 10. С. 24–26.
11. Ивонинская Д. А., Шилина А. А. Обоснование внесения биологически активной добавки — спирулина в рецептуру замороженного тестового полуфабриката // Вестник молодой науки. 2017. № 3 (10). С. 13.
12. Хмельва Е. В., Березина Н. А., Румянцева В. В., Осипова Г. А. использование микроводоросли спирулина в технологии зернового хлеба // Хлебопродукты. 2018. № 8. С. 50–53.
13. Болкунов П. С., Мамаев А. В., Родина Н. Д., Сергеева Е. Ю. Научная новизна и практическая значимость применения мороженого с биологически активным комплексом «Спирулина-лён» // Евразийский союз ученых. 2016. № 3–3 (24). С. 124–126.
14. Ivannikova N. V., Gorbatovskaya N. A. The use of spirulina in vegetable juices // Механика и технологии. 2018. № 1 (59). С. 55–59.
15. Курсеитова Э. С. Исследование факторов, влияющих на процесс сушки спирулины // Сборник ДГТУ, КСМТУ. 2013. В. 4. С. 86–88.
7. Pilipenko T. V. Functional food products for the prevention of iodine deficiency diseases. *Problems of Economics and Management in Trade and Industry*. 2014. No. S1. p. 73–77. (in Russian)
8. Soni R. A., Sudhakar K., Rana R. S. Spirulina — from growth to nutritional product: a review. *Trends in Food Science & Technology*. 2017. No. 69. p. 157–171.
9. Nikiforov-Nikishin D. L., Tarakanova V. V., Golovacheva N. A. Algae as an ecological and renewable biological source of nutrition. *Delta Science*. 2019. No 1. p. 16–18. (in Russian)
10. Ivanova Z. A., Tkhazeplova F. Kh. The influence of spirulina on the quality indicators of bakery products from barley and wheat flour. *Successes in modern science and education*. 2016. Vol. 5. No. 10. p. 24–26. (in Russian)
11. Ivoninskaya D. A., Shilina A. A. The rationale for the introduction of biologically active additives — spirulina in the formulation of a frozen test semi-finished product. *Bulletin of youth science*. 2017. No. 3 (10). p. 13. (in Russian)
12. Hmeleva E. V., Berezina N. A., Rumyantseva V. V., Osipova G. A. the use of spirulina microalgae in the technology of grain bread. *Bread products*. 2018. No. 8. p. 50–53. (in Russian)
13. Bolkunov P. S., Mamaev A. V., Rodina N. D., Sergeeva E. Yu. The scientific novelty and practical significance of the use of ice cream with the biologically active complex «Spirulina-flax». *Eurasian Union of Scientists*. 2016. No. 3–3 (24). p. 124–126. (in Russian)
14. Ivannikova N. V., Gorbatovskaya N. A. The use of spirulina in vegetable juices. *Mechanics and Technology*. 2018. No. 1 (59). p. 55–59. (in Russian)
15. Kurseitova E. S. The study of factors affecting the drying process of spirulina. *Collection of DGTU, KSMTU*. 2013. Vol. 4. p. 86–88. (in Russian)

Сведения об авторе

Ермолаев Владимир Александрович

Д. т. н., профессор, кафедры товароведения и товарной экспертизы, Российский экономический университет им. Плеханова, 117997, Россия, Москва, Стремянный пер., 36, ermolaevvla@rambler.ru

Information about author

Ermolaev Vladimir A.

D. Sc., Professor, Department of Commodity Science and Expertise, Plekhanov Russian University of Economics, 117997, Russia, Moscow, Stremennyi prov., 36, ermolaevvla@rambler.ru



10-я Международная выставка «UzStroyExpo – Строительство, системы отопления и вентиляции»

21-21 октября 2020 г.

Основные разделы выставки:

- Строительство, строительная техника и оборудование;
- Строительные материалы;
- Отопление и вентиляция;
- Водоснабжение, водоочистка, сантехника.

Место проведения:

НБК «УзЭкспоЦентр», Узбекистан, г. Ташкент
www.ieg.uz

Менеджер проекта:

Ольга Сокольникова
E-mail: sales3@ieg.uz, prod@ieguzexpo.com