

ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ПЛОДАХ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ БАКЛАЖАНА (*SOLANUM MELONGENA*, *S. INTEGRIFOLIUM*, *S. AETHIOPICUM*) И ИХ ГИБРИДОВ F₁ СЕЛЕКЦИИ ВНИИССОК

Верба В.М. – м.н.с. лаб. селекции и семеноводства пасленовых культур

Мамедов М.И. – доктор с.-х. наук, зав. лаб. селекции и семеноводства пасленовых культур

Пышина О.Н. – доктор с.-х. наук, зам. директора по науке

Шмыкова Н.А. – доктор с.-х. наук, зав. лаб. биотехнологии

ГНУ Всероссийский НИИ селекции и семеноводства овощных культур

143080 Московская область, Одинцовский район,

п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д.14

Тел.: +7(495)599-24-42

E-mail: vniissok@mail.ru

Изучено содержание фенольных соединений (флавоноидов, антоцианов, фенолкарбоновых кислот) в плодах трех видов баклажана (*Solanum melongena* L., *S. integrifolium* L., *S. aethiopicum* L.) и их гибридов F₁, выращиваемых в условиях малообъемной гидропоники. Установлено, что некоторые гибриды F₁ культурного баклажана (*S. melongena*) содержат до 2,3 % фенольных соединений, дикорастущие виды *S. aethiopicum* L. и *S. integrifolium* L. – до 3 %.

Ключевые слова: баклажан, межвидовые гибриды, полифенольные соединения

Пищевая и лечебная ценность овощей в значительной степени зависят от содержания в них биологически активных веществ (БАВ). Однако их содержание подвержено значительным колебаниям и зависит не только от вида, но также от сорта и региона произрастания. Поэтому важно изучать закономерности их накопления при различных условиях выращивания. Основываясь на результатах этих исследований, необходимо программировать селекционный процесс, направленный на создание новых сортов и гибридов F₁ с повышенным содержанием



БАВ в съедобных частях овощных растений [1].

К числу наиболее важных БАВ относятся ряд полифенольных соединений, таких как фенолкарбоновые кислоты (ФКК), флавоноиды (в т.ч. антоцианы).

Известно, что свободные радикалы и липиды включаются во многие патологические процессы и вызывают рак, раннее развитие атеросклероза, хронические воспаления и др. Флавоноиды и ФКК, благодаря антиоксидантному действию, защищают ткани от повреждающего воздействия свободных радикалов и продуктов перекисного окисления липидов, предотвращая развитие этих заболеваний и повреждения ДНК [2].

Изучение механизма защитного действия растительных полифенолов в отношении сердечнососудистой патологии, заболеваний коронарных сосудов, развития инфарктов миокарда, остеопороза, показало, что защитный эффект связан именно с их антиоксидантным действием [3; 4]. Prior, Cao [5] указывают на то, что флавоноиды являются более активными антиоксидантами, чем α -токоферола ацетат и аскорбиновая кислота. Выявлено, что антипролиферативный эффект флавоноидов сравним с действием современных противоопухолевых агентов [6; 7], при этом флавоноиды способны подавлять канцерогенез, воздействуя на процессы не только инициации и прогрессирующего роста, но и метастазирования опухоли [8].

Повышенный радиационный фон во многих регионах России является одной из острейших экологических проблем нашей страны. При этом наиболее приемлемым способом радиобиозащиты является включение в пищевой рацион микроэлементов, флавоноидов и др. [9].

В исследованиях Sudheesh et al. [10] у крыс наблюдалось снижение содержания холестерина в сыворотке крови при кормлении их флавоноидами, выделенными



**Гибридная комбинация F,
Л-Беглец x Л-Багратион
с высокими общей урожайностью (19,1 кг/м²)
и числом товарным плодов на растении (27,4 шт.)**

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ. ОВОЩИ – ЗДОРОВЬЕ НАЦИИ

из плодов баклажана дозой всего 1 мг/100 г пищи в день.

В рамках селекционной программы, направленной на повышение содержания фенольных соединений, необходимо также уделять внимание антоцианам (группа флавоноидов), содержащимся в кожуре плодов. Исследования японских ученых показали, что антоцианы баклажана проявляют наиболее высокую антиоксидантную активность среди основных употребляемых в

пищу овощей [11; 12; 13; 14]. К важным биологическим эффектам антоцианов относятся антимуtagenный эффект [15] и противоопухолевое действие [16], повышение остроты зрения [17].

По данным японских ученых [18] основным представителем фенолкарбоновых кислот в баклажанах является хлорогеновая кислота. В ее присутствии происходит ингибирование оксидазы витамина А и окисления эпинефрина [19]. Установле-

но активное противодействие хлорогеновой кислоты вирусам герпеса I и II, патогенным бактериям *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli*, воспалительным процессам и аллергии [20]. Изучение антиоксидантной активности хлорогеновой кислоты в баклажанах показало, что способность к улавливанию свободных радикалов сильно коррелирует с количественным содержанием хлорогеновой кислоты. Это позволяет предположить, что биоло-

Таблица 1. Содержание фенольных соединений в плодах различных видов баклажана (*S. melongena* L., *S. integrifolium* L., *S. aethiopicum* L.)

Образец	Содержание, %			
	антоцианов в кожуре плодов	ФКК в мякоти плодов	флавоноидов в мякоти плодов	Общее (4+5)
Линии и гибриды F₁ <i>S. melongena</i> L.				
F ₁ Л-Багратион х Л-Бак	0,19 ± 0,03	1,4 ± 0,0	0,8 ± 0,0	2,2
F ₁ Л-Багратион х Л-Алмаз	0,17 ± 0,02	1,2 ± 0,0	0,7 ± 0,1	1,9
F ₁ Л-Багратион х Л-Солярис	0,14 ± 0,02	1,3 ± 0,0	0,9 ± 0,1	2,2
F ₁ Л-Багратион х Л-Беглец	0,12 ± 0,02	1,2 ± 0,0	1,0 ± 0,1	2,2
F ₁ Л-Бак х Л-Багратион	0,25 ± 0,03	1,4 ± 0,0	0,7 ± 0,1	2,1
F ₁ Л-Бак х Л-Алмаз	0,25 ± 0,03	1,4 ± 0,0	0,7 ± 0,0	2,1
F ₁ Л-Бак х Л-Солярис	0,17 ± 0,02	1,4 ± 0,0	0,7 ± 0,0	2,1
F ₁ Л-Бак х Л-Беглец	0,13 ± 0,01	1,0 ± 0,0	0,7 ± 0,1	1,7
F ₁ Л-Алмаз х Л-Багратион	0,12 ± 0,02	1,0 ± 0,0	0,8 ± 0,1	1,8
F ₁ Л-Алмаз х Л-Бак	0,19 ± 0,04	1,2 ± 0,0	0,7 ± 0,1	1,9
F ₁ Л-Алмаз х Л-Солярис	0,33 ± 0,05	1,4 ± 0,0	0,8 ± 0,1	2,2
F ₁ Л-Алмаз х Л-Беглец	0,14 ± 0,02	1,2 ± 0,0	1,1 ± 0,0	2,3
F ₁ Л-Солярис х Л-Багратион	0,16 ± 0,00	1,4 ± 0,0	0,8 ± 0,0	2,2
F ₁ Л-Солярис х Л-Бак	0,17 ± 0,03	1,1 ± 0,0	1,0 ± 0,1	2,1
F ₁ Л-Солярис х Л-Алмаз	0,22 ± 0,06	1,3 ± 0,0	0,7 ± 0,1	2,0
F ₁ Л-Солярис х Л-Беглец	0,09 ± 0,02	1,5 ± 0,0	0,7 ± 0,1	2,2
F ₁ Л-Беглец х Л-Багратион	0,11 ± 0,01	1,1 ± 0,0	0,8 ± 0,0	1,9
F ₁ Л-Беглец х Л-Бак	0,12 ± 0,03	1,0 ± 0,0	0,7 ± 0,0	1,7
F ₁ Л-Беглец х Л-Алмаз	0,18 ± 0,02	1,4 ± 0,0	0,9 ± 0,0	2,3
F ₁ Л-Беглец х Л-Солярис	0,22 ± 0,03	1,3 ± 0,0	1,0 ± 0,0	2,3
Л-Беглец	0,11 ± 0,02	1,1 ± 0,0	0,7 ± 0,0	1,8
Л-Багратион	0,18 ± 0,02	1,3 ± 0,0	0,9 ± 0,1	2,2
Л-Бак	0,16 ± 0,05	1,0 ± 0,0	0,8 ± 0,1	1,8
Л-Алмаз	0,12 ± 0,05	1,0 ± 0,0	0,8 ± 0,0	1,9
Л-Солярис	0,11 ± 0,01	1,3 ± 0,0	0,8 ± 0,1	2,1
Дикорастущие виды и межвидовые гибридные комбинации F₁				
Л-Бриллиант (<i>S. melongena</i> L.)	0,13 ± 0,04	1,0 ± 0,0	0,8 ± 0,1	1,8
<i>S. aethiopicum</i> L.	–	1,5 ± 0,0	1,4 ± 0,0	2,9
<i>S. integrifolium</i> L.	–	1,8 ± 0,0	1,2 ± 0,1	3,0
<i>S. aethiopicum</i> х Л-Бриллиант	–	1,7 ± 0,0	0,9 ± 0,0	2,6
<i>S. aethiopicum</i> х Л-Алмаз	–	1,6 ± 0,0	1,0 ± 0,0	2,6
Л-Бриллиант х <i>S. integrifolium</i>	–	1,6 ± 0,0	1,1 ± 0,0	2,7

гическая активность экстракта баклажана может в значительной степени определяться содержанием хлорогеновой кислоты [18].

Цель работы: оценить линии и гибриды культурного баклажана (*S.melongena* L.), его дикорастущие близкородственные виды, а также межвидовые гибриды по содержанию флавоноидов и фенолкарбоновых кислот в мякоти, и антоцианов к коже плодов. Отобрать образцы с наиболее высоким их количеством для последующего использования в селекционном процессе.

Материал и методы исследований

Материалом для исследований служили 5 линий и 20 гибридных комбинаций F₁ баклажана селекции ВНИИССОК, два дикорастущих вида – *S.integrifolium* L. и *S.aethiopicum* L. Все образцы выращивали в условиях малообъемной гидропоники. Для определения содержания антоцианов в коже плодов их собирали в возрасте 25-30 суток с одного яруса растений. Использовали кожуру, срезанную с плодов в день сбора. Для определения содержания флавоноидов и фенолкарбоновых кислот в мякоти плоды измельчали до размера частиц 1-2 мм и высушивали в сушильном шкафу при температуре 50°C, постоянно перемешивая, в течение двух часов. Влажность сырья при этом доводили до 11-12%.

Изучение качественного состава антоцианов в коже плодов баклажана проводили на кафедре химии МГУ и в лаборатории химии пищевых продуктов Института питания РАМН.

Содержание флавоноидов в мякоти плодов определяли в соответствии с Gajula et al. [21]. Пересчет проводили на рутин по формуле:

$$X = \frac{D \times 0,107 \times V_{tot}}{m \times V_{pr}}, \%$$

где D – поглощение при 410 нм, 0,107 – коэффициент пересчета на рутин, V_{tot} – 25 мл, V_{pr} – 2 мл.

Суммарное содержание антоцианов в коже плодов определяли в соответствии с руководством по методам контроля качества и безопасности биологически активных

Рис. 1. Разделение смеси антоцианов, содержащихся в коже плодов баклажана при 520 нм (анализ 23.06.10 г) (снизу вверх): F₁ Багира, Л-Багратион, Л-Бак, Л-Алмаз, Л-Солярис, Л-Беглец.

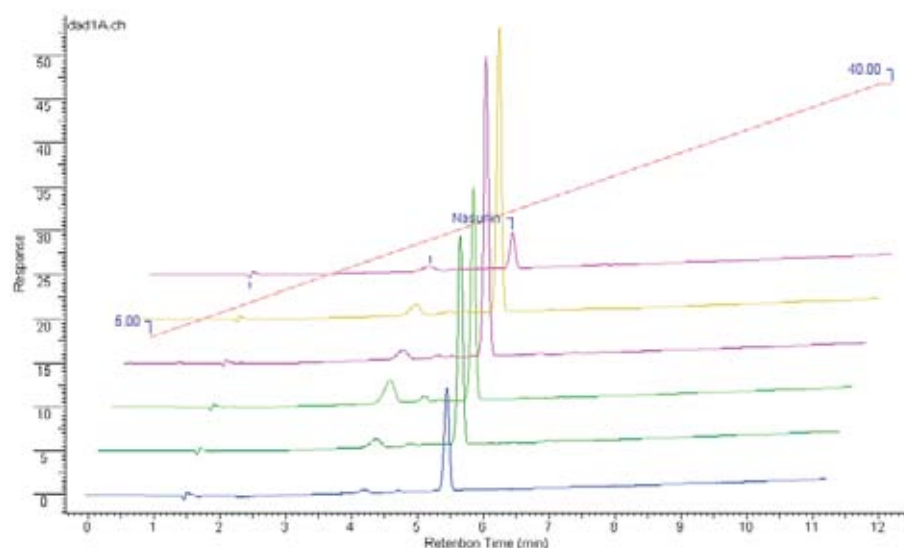
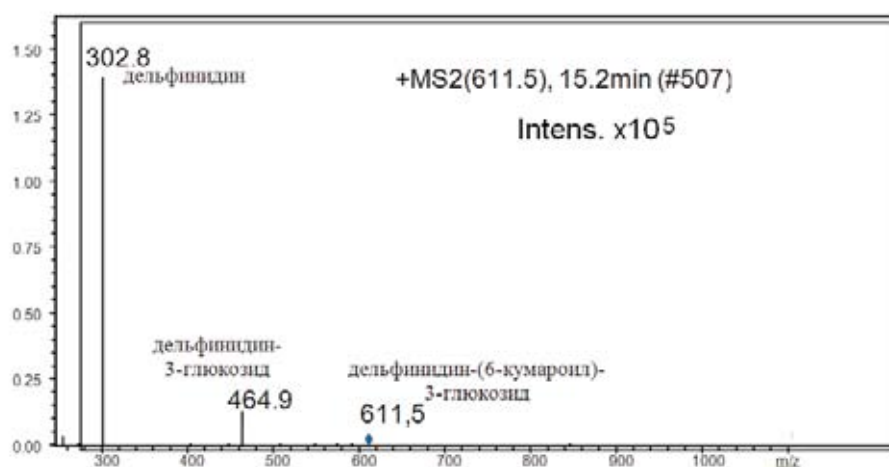


Рис. 2. Результаты определения химической структуры антоциана, содержащегося в коже плодов *S.melongena*, на масс-детекторе (TOF-MS) (520 нм).



добавок к пище [22]. Пересчет проводили на цианидин-3-глюкозид по формуле:

$$C = \frac{A \times 449,2 \times F \times V \times 100\%}{26900 \times l \times m}, \text{ где}$$

C – суммарное содержание антоцианов в пересчете на цианидин-3-глюкозид, масс. %;
A – оптическая плотность;
449,2 – молекулярная масса цианидин-3-глюкозида, г/моль;
26900 – коэффициент молярного поглощения цианидин-3-глюкозида;

F – разведение;
V – объем, мл;
l – длина кюветы, см;
m – масса образца, мг.

Содержание фенолкарбоновых кислот (ФКК) в мякоти определяли в соответствии с методикой, предложенной М.С. Ларькиной [23]. Пересчет проводили на кофейную кислоту по формуле:

$$X = \frac{D \times 50 \times 100 \times 100}{m \times 782 (100 - W)}, \%$$

где D – оптическая плотность испытуемого раствора; m – масса сырья, г; W – потеря в



Раннеспелая гибридная комбинация (80-85 суток) F_1 Л-Алмаз х Л-Солярис с высоким содержанием антоцианов в коже плодов (0,3%)

массе при высушивании сырья (влажность), %; 782 – удельный показатель поглощения кофейной кислоты при 325 нм.

Все виды анализов проводили в трехкратной повторности.

Результаты исследований и об- суждение. В результате анализа было установлено, что суммарное содержание исследуемых нами фенольных соединений (фенолкарбоновые кислоты + флавоноиды) у гибридов F_1 *S. melongena* L. варьировало в пределах 1,7 – 2,3 %, у линий – 1,8 – 2,2 % (табл. 1), содержание флавоноидов в мякоти плодов гибридных комбинаций F_1 варьировало в пределах 0,7 – 1,1 %, а содержание фенолкарбоновых кислот – от 1,0 до 1,5 %. Таким образом, у ряда гибридных комбинаций F_1 наблюдалось повышение содержания фенольных соединений по сравнению с родительскими линиями.

Количественное содержание флавоноидов у некоторых гибридов F_1 достигало 1,1 %, в то время как у пряно-ароматических и лекарственных эфиромасличных растений по данным Пупыкиной, Кудашкиной [5] оно составляет 0,5 % – у пажитника голубого (*Trigonella coerulea* L.), 2,0 % – у лаванды узколистной (*Lavandula angustifolia* M.), 2,2 % – у мяты перечной (*Mentha piperita* L.). Данные сравнимы, если учитывать, что баклажан является продуктом питания, а не лекарственным растением.

Содержание антоцианов в коже плодов гибридных комбинаций F_1 и линий варьировало от 0,09 до 0,33 %. По данным Noda et al. [14] содержание антоцианов у японского сорта Chouja-nasu составляет в среднем 0,14 % (0,15 г/кг плодов), в то время как изученные нами гибриды (F_1 Л-Алмаз х Л-Солярис, F_1 Л-Бак х Л-Алмаз, F_1 Л-Солярис х Л-Алмаз) содержали значительно большее количество антоцианов – 0,22 – 0,33 %. По данному признаку у 40% гибридных комбина-

ций F_1 наблюдался эффект гетерозиса – 105,6 – 193,8%.

Хроматографический анализ качественного состава антоцианов показал, что для всех исследуемых линий и гибридов F_1 характерно наличие одинакового качественного состава антоцианов в кожуре плодов (рис. 1). Все пики имели одинаковое время удерживания и различались только площадью.

Определение химической структуры антоцианов в кожуре плодов линий и гибридов F_1 показало, что основным антоцианом является дельфинидин-(6-кумароил)-3-глюкозид (рис. 2).

Анализ дикорастущих видов баклажана *S.aethiopicum* L. и *S.integrifolium* L., и межвидовых гибридов, полученных с их участием, показал, что суммарное содержание исследуемых фенольных соединений у диких видов

(*S.aethiopicum* L. и *S.integrifolium* L.) составило 2,9-3,0 %, что в 1,5 раза выше по сравнению с родительскими линиями вида *S.melongena* L. По результатам анализов также видно, что высокое содержание фенольных соединений передавалось межвидовым гибридам. Так если у линии Л-Бриллиант (*S. melongena* L.) общее содержание фенольных соединений составило 2,1 %, то у межвидовых гибридов с участием этой линии – 2,6-2,7%. При этом флавоноидов содержалось в 1,3 раза больше по сравнению с родительским видом *S.melongena* L., фенолкарбоновых кислот – в 1,6-1,7 раза.

Выводы. Предварительная оценка родительских линий и гибридных комбинаций, полученных с их участием, позволила выявить гибриды F_1 баклажана *S. melongena* с высоким содержанием полифенольных соединений.

Изучение дикорастущих видов баклажана *S.aethiopicum* L. и *S.integrifolium* L., а также межвидовых гибридов с их участием, показало, что у диких видов содержание фенольных соединений выше, чем у изучаемых гибридов F_1 и линий *S.melongena* L. При этом содержание флавоноидов выше в 1,3 раза, фенолкарбоновых кислот – в 1,6-1,7 раза, чем у вида *S.melongena* L.

Основным антоцианом линий и гибридных комбинаций F_1 селекции ВНИИССОК является дельфинидин-(6-кумароил)-3-глюкозид, который ранее не был выявлен в баклажане. Содержание антоцианов в плодах ряда гибридных комбинаций F_1 достигало 0,22 – 0,33 % (в среднем 0,14%). По данному признаку у 40% гибридных комбинаций F_1 наблюдается эффект гетерозиса 105,6 – 193,8%.

Литература

1. Prohens J., Nuez F. Handbook of plant breeding: Vegetables II. Springer, New York, 2008, USA.
2. Anderson R., Amarasinghe C., Fisher L. et al. Reduction in free-radical-induced DNA strand breaks and base damage through fast chemical repair by flavonoids//Free Radic. Res. – 2000. – V.33. – P.91-103.
3. Joshipura K., Hu F., Manson J. et al. The effect of fruit and vegetable intake on risk for coronary heart disease//Ann. Int. Med. – 2001. – 134. – P.1106-1114.
4. Bazzano L., He J., Ogden L. et al. Fruit and vegetable intake and risk of cardiovascular disease in US adults: the first National Health and Nutrition Examination Survey Epidemiologic Follow-up Study//Am. J. Clin. Nutr. – 2002. – V.76. – P.93-99.
5. Prior R., Cao G. Analysis of botanicals and dietary supplements for antioxidant capacity: a review//J. AOAC Int. – 2000. – V.8, №4. – P.950-956.
6. Kawai S., Tomono Y., Katase E. et al. Antiproliferative activity of flavonoids on several cancer cell lines//Biosci. Biotechnol. Biochem. – 1999. – V.63. – p.896-899.
7. Brakenchielm E., Cao Y. Suppression of angiogenesis, tumor growth, and wound healing by resveratrol, a natural compound in red wine and grapes//FASEB. – 2001. – V.15. – P. 1798-1800.
8. Ren W., Qiao Z., Wang H. et al. Flavonoids: Promising Anticancer Agents//Med. Res. Rev. – 2003. – V.23, № 4. – P.519-534.
9. Пупыкина К.А., Кудашкина Н.В. Изучение возможности пряно-ароматических и эфирномасличных растений для экопротективной помощи населению//Вестник ОГУ. – 2009. – № 6. – С.499-502.
10. Sudheesh S., Presannakumar G., Vijayakumar S. et al. Hypolipidemic effect of flavonoids from *Solanum melongena* L.//Plant F. Hum. Nutr. – 1997. – № 51. – P.321-330.
11. Noda T., Kneuyki T., Igarashi K. et al. Antioxidant activity of nasunin, an anthocyanin in eggplant peels//Toxicology. – 2000. – V.148. – P.119-123.
12. Fukumoto L., Mazza G. Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds//J. Agric. Food Chem. – 2000. – V.48. – P.3597-3604.
13. Ichiyanagi T., Hatano Y., Matsugo S. et al. Kinetic comparison of anthocyanin reactivity towards AAPH radical, hydrogen peroxide and t-buthylhydroperoxide using capillary zone electrophoresis//Chem. Pharm. Bull. – 2004. – V.52. – P.434-438.
14. Azuma K., Ohyama A., Ippoushi K. et al. Structures and antioxidant activity of anthocyanins in many accessions of eggplant and its related species // J. Agric. Food Chem. – 2008. – V.56. – P.10154-10159.
15. Yoshimoto M., Okuno S., Yamaguchi M. et al. Antimutagenicity of deacylated anthocyanins in purple-fleshed sweetpotato // Biosci. Biotechnol. Biochem. – 2001. -V.65. – P.1652-1655.
16. Katsube N., Iwashita K., Tsushida T. et al. Induction of apoptosis in cancer cell by bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) and the anthocyanins//J. Agric. Food Chem. – 2003. – V.51. – P.68-75.
17. Matsumoto H., Hanamura S., Tachibanaki S. et al. Stimulatory effect of cyanidin 3-glycoside on the regeneration of rhodopsin//J. Agric. Food Chem. – 2003. – V.51. – P.3560-3563.
18. Tateyama C., Igarashi K. Anthocyanin and chlorogenic acid contents of some selected eggplant (*Solanum melongena* L.) cultivars, and the radical scavenging activities of their extracts//Journ. J. Soc. Food Sci. Technol. – 2006. – V.53, №.4. – P.218-224.
19. Lun-Yi Z., Greg C., Henry G. et al. Effect of chlorogenic acid on hydroxyl radical//Molec. Cell. Biochem. – 2003. – V.247, № 1-2. – P. 205-210.
20. Chkhikvishvili I., Kharebava G. Chicoric and chlorogenic acids in plant species from Georgia // Appl. Biochem. Microbiol. – 2001. – V.37, № 2. – P.188-191.
21. Gajula, D., Verghese M., Boateng J. et al. Determination of total phenolics, flavonoids and antioxidant and chemopreventive potential of basil (*Ocimum basilicum* L. and *Ocimum tenuiflorum* L.) // Int. J. Cancer Res. – 2009. – V.5. – P.130-143.
22. Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. – М.:Минздрав России. – 2004. – P.4.1.1672-03.
23. Ларькина М.С., Кадырова Т.В., Ермилова Е.В. Изучение динамики накопления фенолкарбоновых кислот в надземной части василька шероховатого//Химия растительного сырья. – 2008. – №3. – С.71-74.