

ISSN 2304-9081

Учредители:
Уральское отделение РАН
Оренбургский научный центр УрО РАН

Бюллетень
Оренбургского научного центра
УрО РАН
(электронный журнал)



2014 * № 2

On-line версия журнала на сайте
<http://www.elmag.uran.ru>

© Коллектив авторов, 2014

УДК: 579.61

*А.А. Тиньков¹, Е.Р. Гатиатуллина¹, О.Н. Немерешина¹, А.А. Никоноров¹,
Д.Л. Аминин², В.А. Гриценко³*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА ПОДОРОЖНИКОВЫЕ НА РОСТ *E. COLI IN VITRO*

¹ Оренбургская государственная медицинская академия, Оренбург, Россия

² Тихоокеанский институт биоорганической химии ДВО РАН, Владивосток, Россия

³ Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Оренбург, Россия

Цель. Установить характер влияния водных экстрактов растений семейства Подорожниковые на рост *E. coli*

Материалы и методы. Из листьев 6 растений семейства Plantaginaceae (3 вида *Plantago*; 3 вида *Veronica*) готовились водные экстракты различной концентрации, оценивалась их железо-связывающая, антиоксидантная и восстанавливающая активность. Влияние растений на рост *E. coli* определялось *in vitro* при внесении экстрактов в среду.

Результаты. Водные экстракты растений семейства Подорожниковые при добавлении в инкубационную среду увеличивали удельную скорость роста *E. coli* K12, которая положительно коррелировала с антиоксидантной и восстанавливающей активностью экстрактов и обратно – с их железо-связывающей активностью.

Заключение. Водные экстракты растений семейства Подорожниковые характеризуются железо-связывающей, антиоксидантной, восстанавливающей и пребиотической активностью.

Ключевые слова: подорожник, вероника, *E. coli*, пребиотическая активность.

*A.A. Tinkov¹, E.R. Gatiatullina¹, O.N. Nemereshina¹, A.A. Nikonorov¹,
V.A. Gritsenko²*

COMPARATIVE STUDY OF DIFFERENT PLANTAGINACEA SPECIES' INFLUENCE ON *E. COLI* GROWTH *IN VITRO*

¹ Orenburg State Medical Academy, Orenburg, Russia

² Pacific Institute of Bioorganic Chemistry FEB RAS, Vladivostok, Russia

² Institute of Cellular and Intracellular Symbiosis UrB RAS, Orenburg, Russia

Objective. Estimation of the patterns of *Plantaginaceae species*' water extracts influence on *E. coli* growth

Materials and methods. The leaves of 6 *Plantaginaceae species* were used for preparation of water extracts. Iron-binding, antioxidant and reducing activity of extracts were estimated. Extracts' influence on bacterial growth was assessed by introducing the aliquots of the sterile extracts into the incubation media.

Results. Water extracts of *Plantaginaceae species* significantly increased *E. coli* K12 growth. The values of specific bacterial growth rate positively correlated with antioxidant and reducing activity of the studied extracts. At the same time, iron-binding activity was characterized by a significant negative correlation with bacterial growth parameters.

Conclusion. Water extracts of *Plantaginaceae species* are characterized by significant iron-binding, antioxidant, reducing and prebiotic activity.

Key words: *Plantago*, *Veronica*, *E. coli*, prebiotic activity.

Введение

С древнейших времен лекарственные растения успешно использовались в традиционной медицине различных народностей [6]. Разработка новых методов анализа и, как следствие, выявление новых фитохимических соединений, обладающих различными спектрами активности, значительно повысили интерес к исследованиям в области фитомедицины [9].

Растения рода Вероники (*Veronica*), равно как и Подорожники (*Plantago*) традиционно используются в народной медицине [8, 16]. Последние исследования подтвердили филогенетическую близость этих родов [1]. Подобная близость обуславливает сходный химический состав и биологическую активность препаратов данных растений.

Общая антиоксидантная активность различных представителей семейства Подорожниковые была неоднократно продемонстрирована в экспериментах [2, 8, 21]. При этом предположительной группой веществ, обуславливающей данные свойства, являются полифенолы [13]. Кроме того показаны восстанавливающая активность [15] и железо-связывающая способность некоторых полифенолов [10].

В то же время многие свойства растений семейства Подорожниковые (*Plantaginaceae*) остаются слабо изученными. В частности, немногочисленны и противоречивы данные о влиянии *Plantaginaceae* на бактериальный рост. В ряде работ описана бактерицидная активность различных представителей *Plantaginaceae* [18, 19], тогда как другие исследователи указывали на пребиотическую активность [4].

В связи с этим целью настоящего исследования явилось проведение сравнительного анализа химических свойств и влияния 6 растений семейства *Plantaginaceae* (3 вида *Plantago* и 3 вида *Veronica*) на рост бактериальной культуры *E. coli* K12.

Материалы и методы

Для настоящего исследования использованы наземные листья трех видов *Plantago* (*Plantago maxima* Juss. ex Jacq., *Plantago lanceolata* L., *Plantago major* L.) и трех видов *Veronica* (*Veronica teucrium* L., *Veronica spicata* L., *Veronica incana* L.), собранные в период цветения в степной зоне Южного Урала с резко-континентальным климатом. Собранные листья высушивались, подвергались измельчению и хранились в сухом темном месте до про-

ведения исследования.

Для определения химической активности растений *in vitro* использовались водные экстракты. В частности, измельченные листья добавлялись в кипящую дистиллированную воду с последующей инкубацией в течение 30 минут. Полученные экстракты охлаждались до комнатной температуры с последующей фильтрацией в стерильных условиях. Экстракты изготавливались в следующих концентрациях (г сырья/мл воды): 1/10; 1/15; 1/20; 1/25; 1/30; 1/35 и 1/40. Экстракты указанных концентраций использовались для определения железо-связывающей, антиоксидантной и восстанавливающей активности. Для исследования влияния растений семейства *Plantaginacea* на рост *E. coli* K12 использовались экстракты с концентрацией 1/20 и 1/40.

Определение железо-связывающей активности осуществлялось по методике с использованием феррозина [11] с незначительной модификацией. Для определения дозозависимости железо-связывающей активности 20 мкл экстрактов добавлялись к 0,4 мл 0,25мМ раствора соли двухвалентного железа $((\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$ с последующей инкубацией в течение 15 минут при комнатной температуре. После инкубации в пробу вносилось 1,6 мл 1,25мМ раствора феррозина с последующим встряхиванием и повторной инкубацией при комнатной температуре в течение 10 минут. Измерение оптической плотности производилось спектрофотометрически при длине волны (λ) – 562 нм. Процент связывания железа определялся по формуле:

$$[(A_0 - A_1) / A_0] \times 100\%,$$

где A_1 – оптическая плотность пробы, содержащей экстракт растений; A_0 – оптическая плотность контрольной пробы, содержащей вместо исследуемых экстрактов 20 мкл дистиллированной воды.

Временная зависимость железо-связывающей активности позволяет оценить скорость связывания ионов двухвалентного железа исследуемыми экстрактами. Для определения данного параметра использовался вышеуказанный феррозиновый метод с некоторыми модификациями – в частности, время инкубации пробы после внесения 20 мкл экстракта составляло 0, 5, 10, 20, 40 и 60 минут. Последующие манипуляции, так же как и расчет процента связывания железа, производились без изменений.

Общая антиоксидантная [14] и восстанавливающая [12] активность исследуемых экстрактов измерялась в эквивалентах соответствующей активно-

сти 1мМ аскорбата. Все спектрофотометрические измерения производились на спектрофотометре PD-303UV (Arel, Япония).

Исследование влияния экстрактов растений на рост *E. coli* K12 производилось путем инкубации бактериальной культуры в микроячейках планшеты в присутствии экстрактов в течение 24 часов. В частности, 25 мкл бактериальной культуры, содержащей 5×10^8 КОЕ/мл, и 25 мкл исследуемых экстрактов растений вносились в микроячейки, содержащие 200 мкл мясо-пептонного бульона, с последующей инкубацией в термостате при 37°C. Рост бактериальной культуры определялся путем измерения оптической плотности среды в каждой из микроячеек при длине волны (λ) 492 нм на Multiscan Accent (Thermo Labsystems, Финляндия). В настоящем исследовании оптическая плотность оценивалась на 0 (исходный уровень), 2, 4, 6 и 24 часах инкубации. Для оценки динамики роста бактериальной популяции в присутствии исследуемых экстрактов производился расчет удельной скорости роста (μ) *E. coli* K12 по формуле [3]:

$$\mu = (\ln OD_{t_2} - \ln OD_{t_1}) / (T_2 - T_1),$$

где μ – удельная скорость роста бактерий; OD_{t_1} и OD_{t_2} – оптическая плотность в единицы времени T_1 и T_2 соответственно. Удельная скорость роста бактериальной популяции оценивалась во временных интервалах 0-2, 2-4, 4-6 и 6-24 часа.

Полученные данные представлены в виде средних арифметических значений 5 измерений и соответствующих им величин среднеквадратических отклонений ($M \pm \delta$). Для сравнения погрупповых показателей использовался U-критерий Манна-Уитни при уровне значимости $p < 0,05$ (*). Корреляционный анализ производился с использованием коэффициента корреляции Пирсона (r). Все статистические анализы производились с использованием программы Statistica 10 (StatSoft Inc., 2011).

Результаты

Железо-связывающая активность экстрактов. Из данных, представленных на рисунке 1 видно, что железо-связывающая активность экстрактов 1/10 уменьшалась в ряду: *P. lanceolata* > *V. teucrium* > *P. maxima* > *V. incana* > *V. spicata* > *P. major*. Данная тенденция сохранялась и при больших разведениях экстракта. Стоит отметить, что при уменьшении концентрации до 1/30 расположение растений в данном ряду железо-связывающей активности

несколько изменялось: *P. lanceolata* > *V. teucrium* > *P. maxima* > *P. major* > *V. spicata* > *V. incana*.

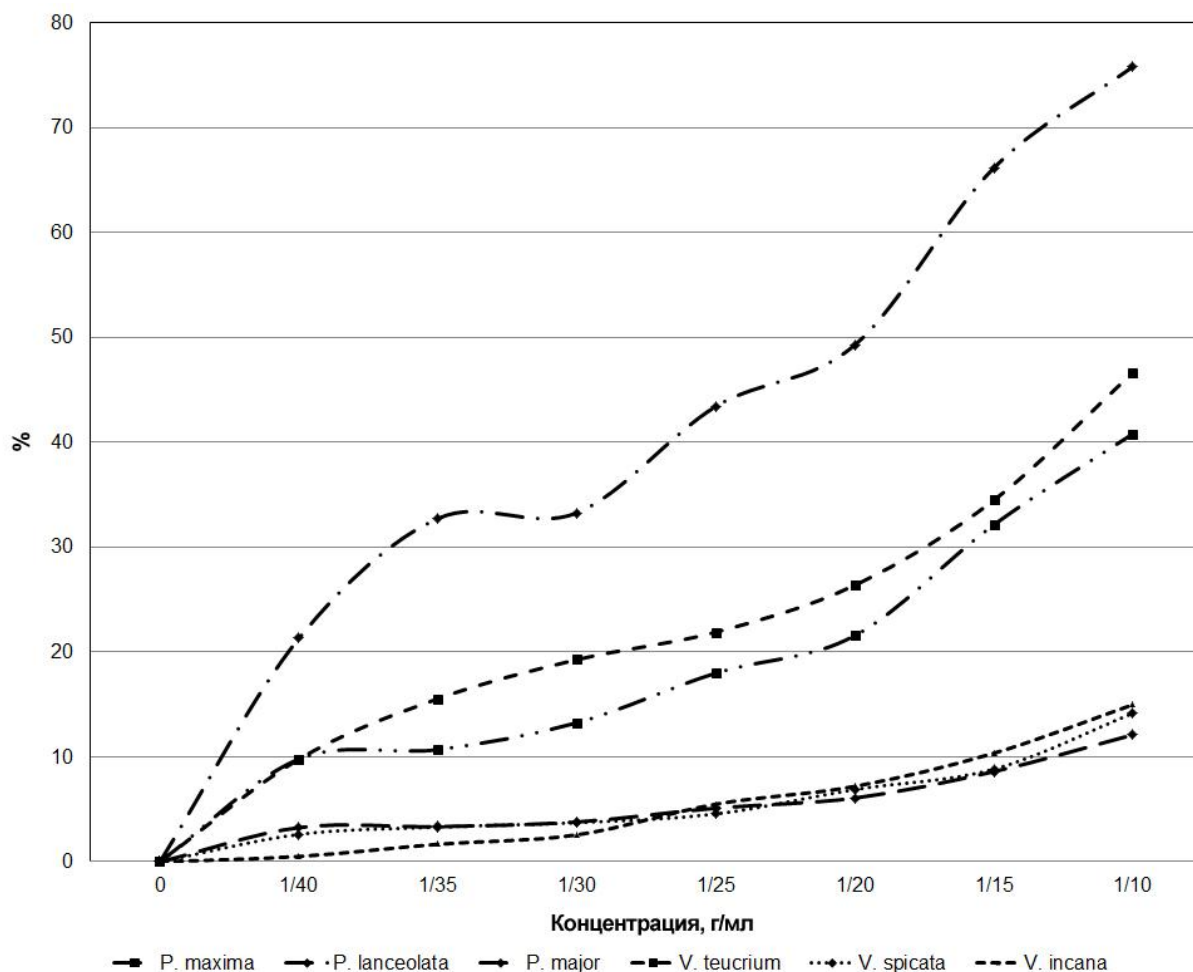


Рис. 1. Железо-связывающая активность экстрактов растений в зависимости от их концентрации.

Таким образом, во всех разведениях экстракта железо-связывающая способность *P. lanceolata* как минимум вдвое превышала подобную активность *P. maxima* и более чем в 6 раз у *P. major*. В свою очередь, значения для *V. teucrium*, обладающей наибольшей Fe-связывающей активностью из *Veronica*, более чем в 3 раза превышали данный параметр для *V. spicata* и *V. incana*.

Скорость связывания ионов Fe^{2+} . Данные о скорости связывания ионов Fe^{2+} экстрактами исследуемых растений (рис. 2) соответствовали данным о дозозависимости данного действия.

Так, при 0 минутах инкубации экстрактов с раствором железа ряд растений по интенсивности связывания ионов Fe^{2+} выглядел следующим образом: *P. lanceolata* > *V. teucrium* > *P. maxima* > *P. major* > *V. spicata* > *V.*

incana. При увеличении длительности инкубации, процент связанного железа увеличивался для экстрактов всех видов растений, а при предварительной инкубации экстракта и раствора железа в течение 60 минут отмечалась наибольшая степень связывания железа.

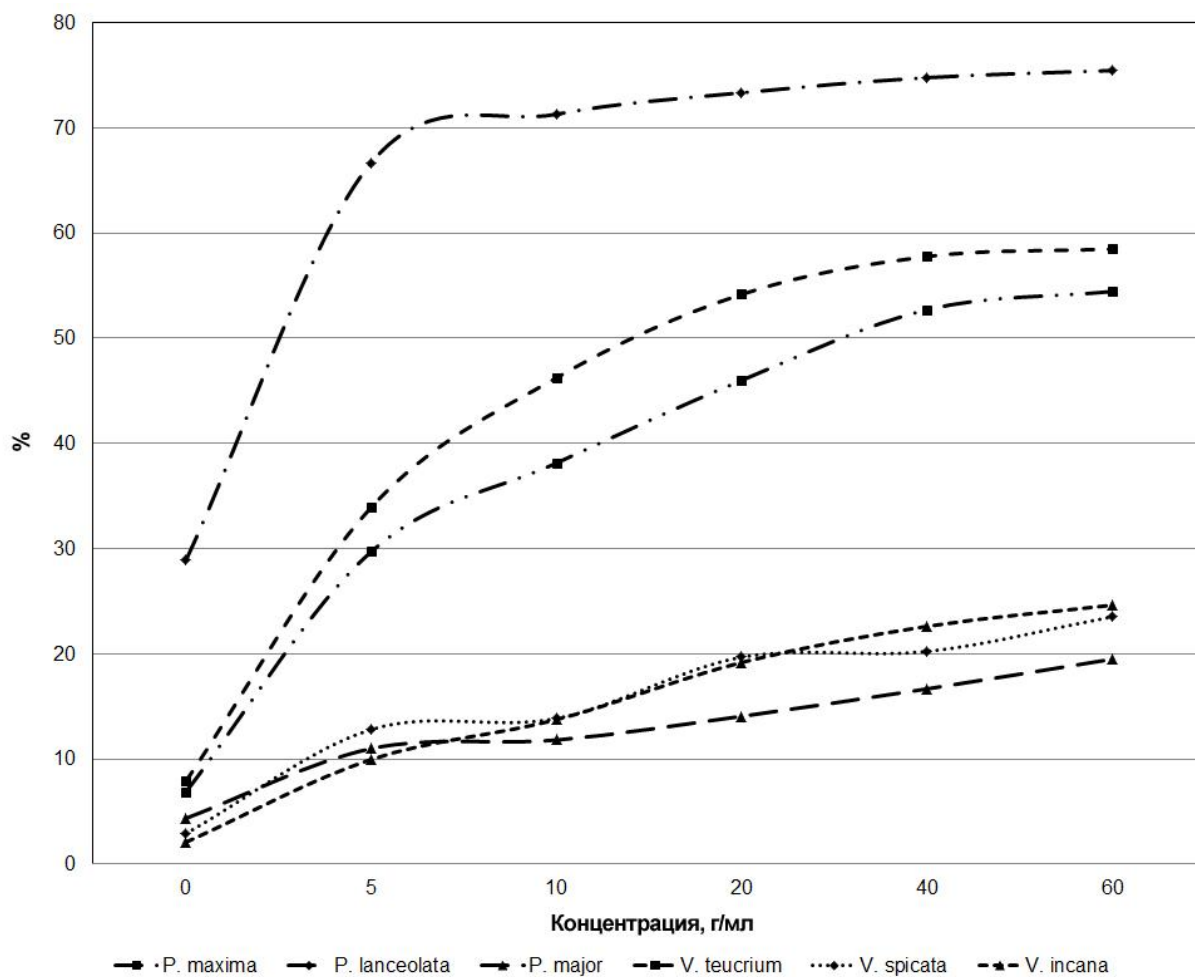


Рис. 2. Скорость связывания железа экстрактами растений.

По степени связывания железа при данном режиме инкубации (60 мин) экстракты растений располагались по следующему градиенту: *P. lanceolata* > *V. teucrium* > *P. maxima* > *V. incana* > *V. spicata* > *P. major*.

Общая антиоксидантная активность экстрактов. Максимальная общая антиоксидантная активность экстрактов 1/10 отмечалась у *V. spicata* и *V. incana*, превышая значения, полученные для *V. teucrium*, более чем в 2 раза (рис. 3).

Среди *Plantago* наиболее высокие значения антиоксидантной активности отмечались в экстрактах *P. maxima*. При этом данные значения превышали соответствующие показатели для *P. lanceolata* на 31% и более чем в 3 раза

– для *P. major*. Данная тенденция сохранялась и при исследовании меньших концентраций экстракта.

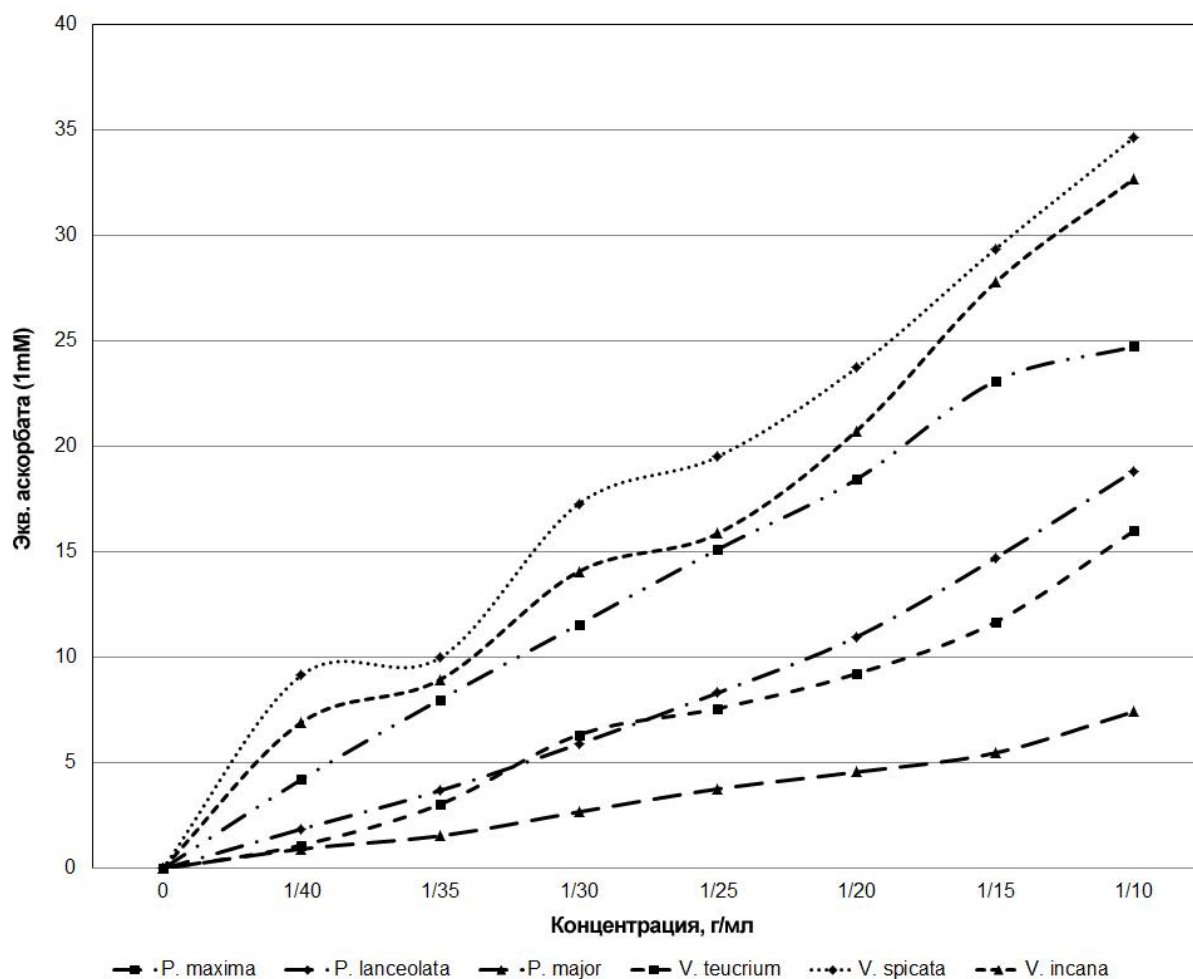


Рис. 3. Общая антиоксидантная активность экстрактов растений в зависимости от концентрации.

Таким образом, общая антиоксидантная активность экстрактов убывала в ряду: *V. spicata* > *V. incana* > *P. maxima* > *P. lanceolata* > *V. teucrium* > *P. major*.

Восстанавливающая активность экстрактов. Восстанавливающая активность экстрактов (при концентрации 1/10) в целом была выше у растений рода *Veronica* (рис. 4).

Так, максимальные значения восстанавливающей активности наблюдались у *V. spicata*, превышая соответствующие значения для *V. incana* и *V. teucrium* на 18 и 90% соответственно.

Среди подорожников наиболее выраженной активностью обладали *P. lanceolata* и *P. maxima*, практически вдвое превышая соответствующие значения для *P. major*.

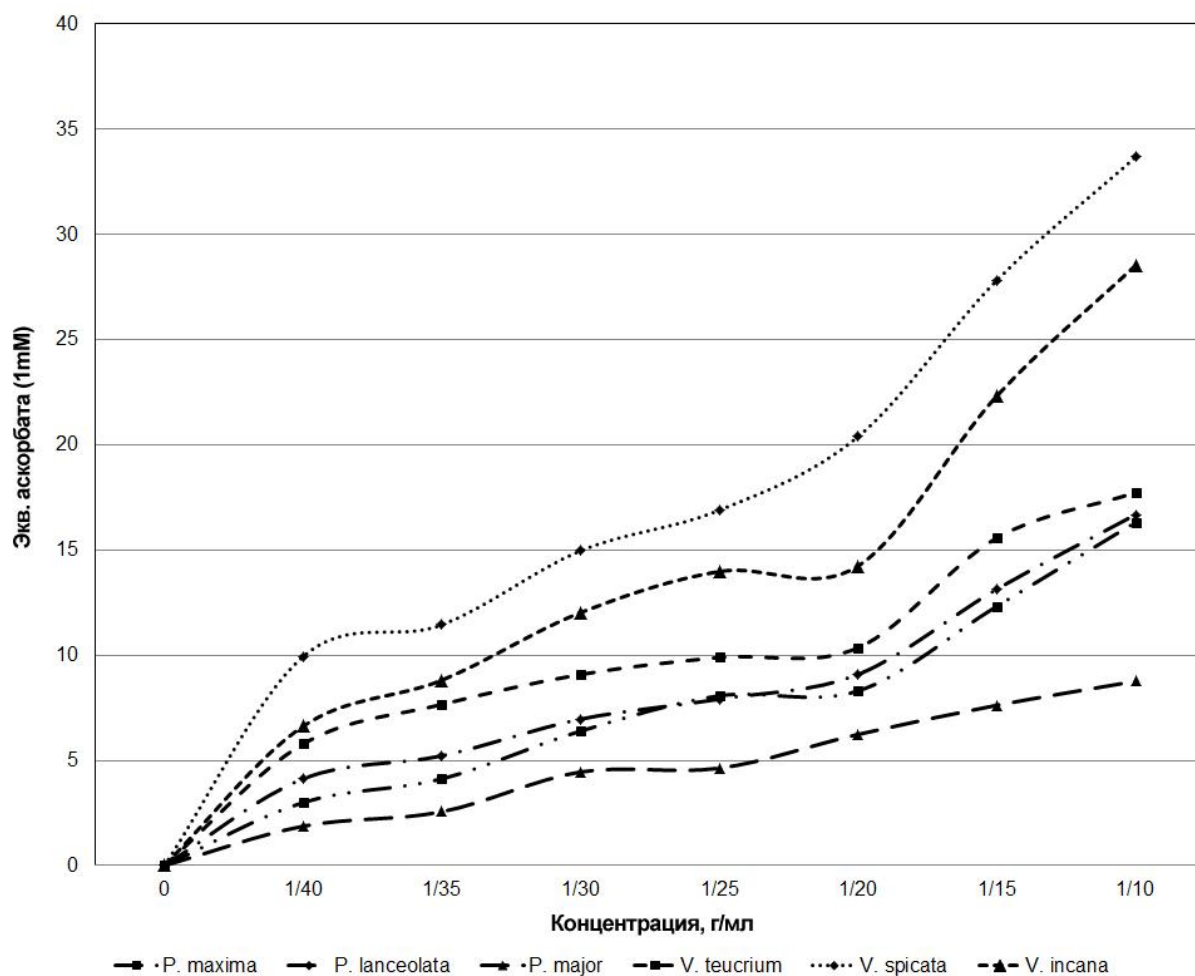


Рис. 4. Восстанавливающая активность экстрактов растений в зависимости от концентрации.

Таким образом, во всех исследуемых концентрациях восстанавливающая активность экстрактов располагалась в следующем ряду: *V. spicata* > *V. incana* > *V. teucrium* > *P. lanceolata* > *P. maxima* > *P. major*.

Влияние экстрактов растений (1/20 и 1/40) на прирост *E. coli* K12. Как видно из графика, представленного на рисунке 5, внесение экстрактов ряда растений (с разведением 1/20) в питательную среду оказывало достоверное влияние на рост *E. coli* K12 уже на 2 часах. Так, экстракты *P. maxima* и *P. major* увеличивали оптическую плотность бактериальных культур на 24 и 27% от контроля соответственно. В то же время *V. teucrium* и *V. spicata* вызвали увеличение количества *E. coli* K12 по сравнению с контролем на 31 и 27% соответственно.

При инкубации бактериальной взвеси в присутствии экстрактов в течение 4 часов установлено, что все исследуемые растения оказывали достоверное стимулирующее влияние на прирост бактериальной биомассы. Так, наи-

более выраженным действием на 4 часа обладали растения рода *Plantago*. Введение в питательную среду экстрактов *P. maxima*, *P. lanceolata* и *P. major* приводило к увеличению оптической плотности бактериальной культуры по сравнению с контрольной культурой на 58, 52 и 65% соответственно. При этом использование соответствующих препаратов *V. teucrium*, *V. spicata* и *V. incana* стимулировало рост *E. coli* K12 на 29, 25 и 21% соответственно.

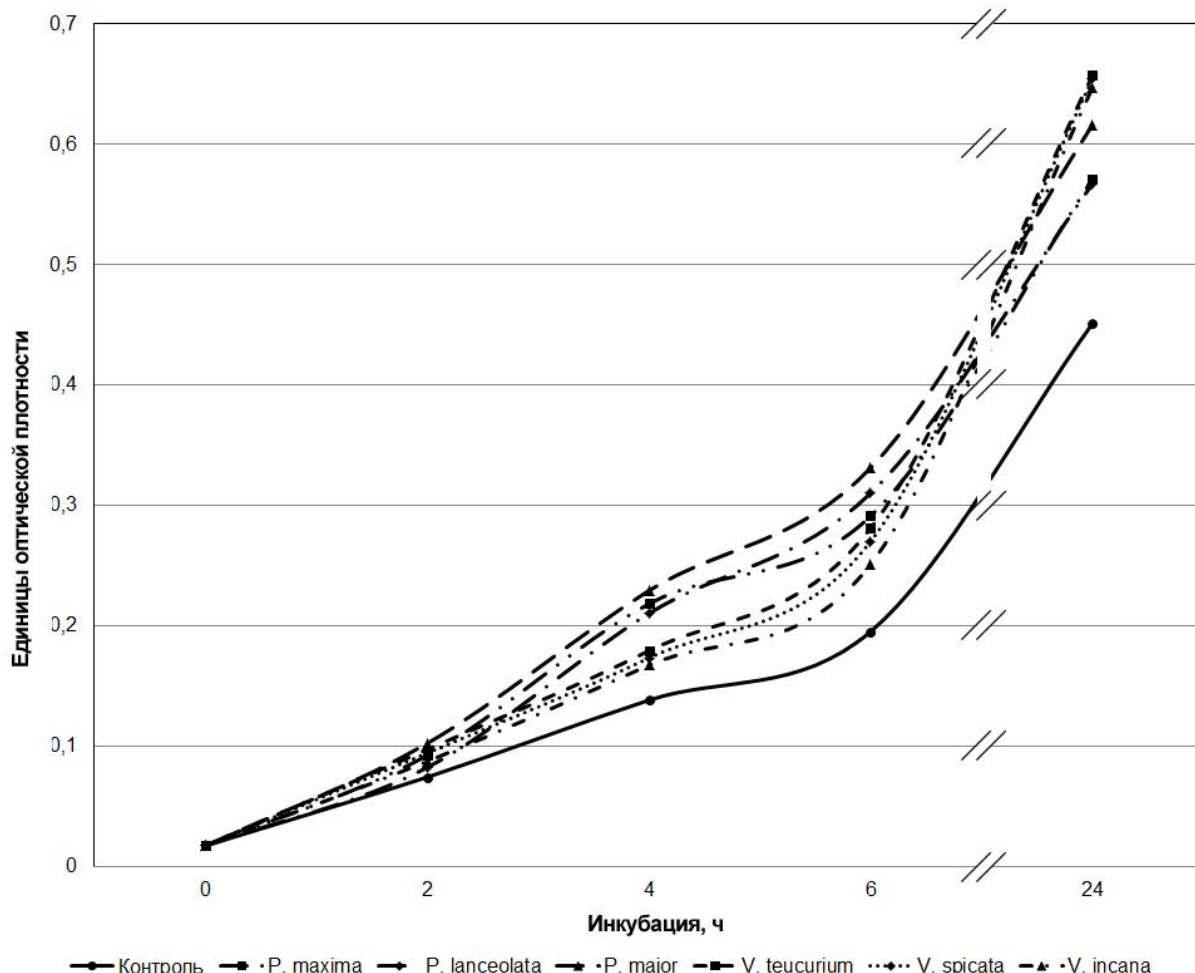


Рис. 5. Влияние 1/20 водных экстрактов растений семейства Plantaginaceae на рост *E. coli* K12.

Данная тенденция сохранялась и при инкубации бактериальной взвеси в течение 6 часов. *P. maxima*, *P. lanceolata* и *P. major* активировали рост бактериальной флоры на 49, 59 и 69% по сравнению с контролем соответственно. В свою очередь введение в питательную среду экстрактов *V. teucrium*, *V. spicata* и *V. incana* на 44, 38 и 28% повышало оптическую плотность бактериальных культур.

При инкубации *E. coli* K12 в течение 24 часов ранее существующая тенденция изменялась. Так, наиболее выраженное активирующее действие

оказывали растения рода *Veronica*. *V. teucrium*, *V. spicata* и *V. incana* вызывали повышение оптической плотности бактериальных культур на 45, 45 и 43% от контроля соответственно. При этом введение экстрактов *P. maxima*, *P. lanceolata* и *P. major* в инкубационную среду приводило к стимуляции роста *E. coli* на 26, 25 и 36% соответственно.

Как и в случае большей концентрации, экстракты растений в разведении 1/40 уже на 2 часа инкубации оказывали достоверное влияние на интенсивность роста бактериальной биомассы (рис. 6).

Так, введение в инкубационную смесь экстрактов *P. maxima* и *P. major* приводили к увеличению оптической плотности бактериальной взвеси на 20 и 25% соответственно. Экстракты *V. teucrium*, *V. spicata* и *V. incana* на 16, 17 и 20% стимулировали рост *E. coli* K12.

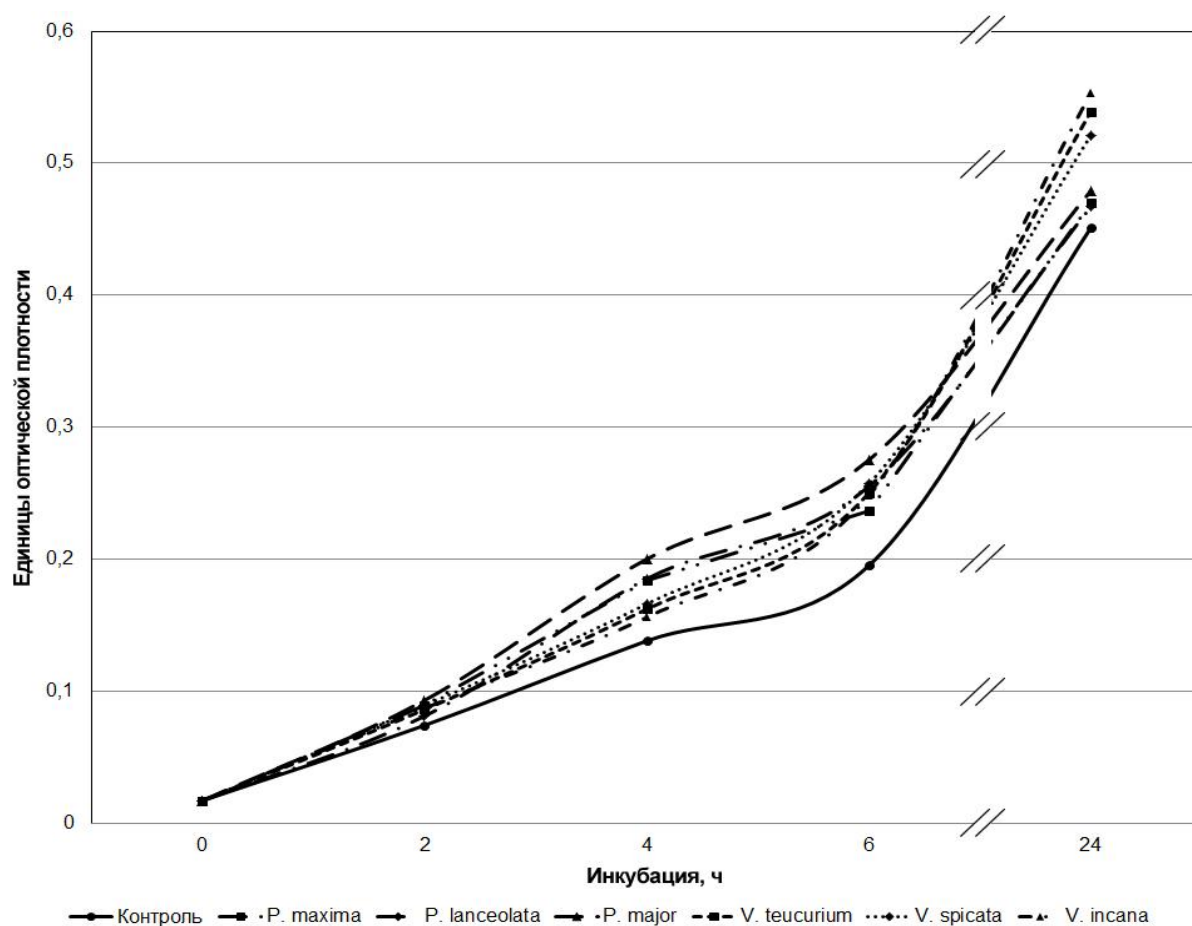


Рис. 6. Влияние 1/40 водных экстрактов растений семейства Plantaginaceae на рост *E. coli* K12.

При инкубации проб в течение 4 часов установлено, что *P. maxima*, *P. lanceolata* и *P. major* достоверно увеличивали биомассу бактерий в пробе на 33, 34 и 45% по сравнению с контролем соответственно. Введение экстрактов

V. teucrium, *V. spicata* и *V. incana* в инкубационную среду увеличивало оптическую плотность культур на 17, 20 и 13% относительно контроля.

Биомасса бактерий, оцениваемая по величине оптической плотности пробы, после 6 часов инкубации увеличивалась на 21, 30 и 41% при введении экстрактов *P. maxima*, *P. lanceolata* и *P. major*. В то же время экстракты *V. teucrium*, *V. spicata* и *V. incana* приводили к стимуляции бактериального роста на 28, 31 и 27% соответственно.

Как и в случае использования меньшей концентрации, экстракты растений рода *Veronica* в разведении 1/40 оказывали больший эффект на рост бактерий при инкубации в течение 24 часов. Так, введение в питательную среду экстрактов *V. teucrium*, *V. spicata* и *V. incana* вызывало увеличение оптической плотности бактериальной взвеси на 19, 15 и 22% по сравнению с контролем соответственно. В то же время экстракты *Plantag*, хоть и приводили к повышенному накоплению биомассы бактерий после 24-часовой инкубации, но не обеспечивали достоверных отличий от контрольных значений.

Влияние исследуемых экстрактов на удельную скорость роста *E. coli* K12. Данные, представленные в таблице 1, показывают, что экстракт *P. maxima* повышает удельную скорость роста биомассы эшерихий в периоды 0-2 часа и 2-4 часа на 21 и 36% по сравнению с контрольными значениями соответственно. В то же время на поздних временных интервалах отмечается обратный эффект. Так, экстракт *P. maxima* приводил к снижению удельной скорости роста в периоды 4-6 и 6-24 часа на 32 и 22% соответственно.

Таблица 1. Влияние экстрактов в концентрации 1/20 различных растений на удельную скорость роста *E. coli* K12 (μ, усл. ед.)

Период, часы	0-2	2-4	4-6	6-24
Контроль	0,59±0,06	0,35±0,06	0,20±0,01	0,05±0,01
<i>P. maxima</i>	0,72±0,04*	0,47±0,03*	0,13±0,02*	0,04±0,01*
<i>P. lanceolata</i>	0,65±0,07	0,52±0,07*	0,18±0,02	0,03±0,01*
<i>P. major</i>	0,77±0,12	0,44±0,05	0,17±0,05	0,03±0,01*
<i>V. teucrium</i>	0,74±0,03*	0,35±0,05	0,22±0,02	0,05±0,01
<i>V. spicata</i>	0,73±0,03*	0,34±0,03	0,22±0,04	0,05±0,01
<i>V. incana</i>	0,68±0,08	0,36±0,05	0,21±0,02	0,05±0,01
* Достоверность различий с контрольными показателями				

Экстракт *P. lanceolata* во временном интервале 0-2 часа не оказывал достоверного влияния на удельную скорость роста эшерихий. В то же время в период 2-4 часа экстракт данного вида растений повышал скорость роста *E. coli* K12 на 51% относительно контроля. Экстракт *P. lanceolata* также не оказывал статистически значимого влияния на исследуемый параметр в интервале 0-6 часов. Однако в период с 6 по 24 часа под воздействием *P. lanceolata* интенсивность роста бактерий достоверно уменьшалась на 34%.

Экстракт *P. major*, хоть и оказывал влияние на скорость роста кишечной палочки, не приводил к достоверным изменениям данного показателя на протяжении первых 6 часов наблюдения, но на временном интервале 6-24 часа экстракт данного растения оказывал тормозящее влияние, приводя к уменьшению удельной скорости роста *E. coli* на 30% относительно контроля.

Характер влияния *V. teucrium* и *V. spicata* на удельную скорость роста *E. coli* K12 был практически идентичен. Так, в период 0-2 часа экстракты данных растений повышали скорость роста бактерий на 25 и 23%, а в остальные периоды удельная скорость роста под действием экстрактов данных растений достоверно не отличалась от контроля.

Удельная скорость роста эшерихий под влиянием экстракта *V. incana* несколько превышала соответствующие контрольные показатели, хотя данные различия не являлись достоверными во все периоды наблюдения.

Как видно из данных таблицы 2, общие тенденции, наблюдаемые в случае экстрактов с концентрацией 1/20, отмечались и при применении экстрактов меньшей концентрации (1/40).

Таблица 2. Влияние экстрактов а концентрации 1/40 различных растений на удельную скорость прироста *E. coli* K12 (μ, усл. ед.)

Период, часы	0-2	2-4	4-6	6-24
Контроль	0,59±0,06	0,35±0,06	0,20±0,01	0,049±0,002
P. maxima	0,69±0,08	0,40±0,04	0,13±0,07	0,039±0,002
P. lanceolata	0,62±0,06	0,46±0,03*	0,17±0,04	0,031±0,005*
P. major	0,72±0,10	0,41±0,03	0,16±0,03	0,031±0,007*
V. teucrium	0,68±0,07	0,36±0,03	0,23±0,02	0,044±0,003
V. spicata	0,68±0,06	0,35±0,05	0,23±0,04	0,040±0,003
V. incana	0,68±0,05	0,34±0,04	0,24±0,07	0,046±0,008
* Достоверность различий с контрольными показателями				

Так, введение в питательную среду экстрактов *P. maxima* и *P. major* приводило к увеличению удельной скорости роста во временных интервалах 0-2 и 2-4 часа, однако данные изменения не являлись достоверными, равно как и снижение скорости роста бактерий в периоды 4-6 и 6-24 часа при воздействии данных экстрактов носило характер лишь тенденции.

Экстракт *P. lanceolata* не приводил к значительным изменениям удельной скорости прироста бактериальной массы в начальном периоде наблюдения (0-2 часа). При этом в период 2-4 часа *P. lanceolata* вызывал достоверное увеличение интенсивности роста *E. coli* K12 на 32% относительно контроля. Интервал 4-6 часов не характеризовался достоверными изменениями роста эшерихий под влиянием *P. lanceolata*, а в период 6-24 часа удельная скорость роста бактерий под влиянием *P. lanceolata* снижалась на 36%.

Экстракты растений рода *Veronica* в концентрации 1/40 не оказывали достоверного влияния на удельную скорость роста эшерихий в изученных временных интервалах, хотя обладали некоторым стимулирующим действием.

Взаимосвязь между химической и биологической активностью экстрактов растений. Корреляционный анализ выявил достоверную взаимосвязь «пребиотической» (стимулирующей) активности экстрактов растений семейства Plantaginaceae с их химической активностью *in vitro* (табл. 3).

Таблица 3. Корреляция между химической активностью водных экстрактов растений семейства подорожниковые и удельной скоростью роста *E. coli* K12 после инкубации в присутствии экстрактов

Период, часы		0-2	2-4	4-6	6-24
1/20 Экстракты	Железо-связывающая активность	-0,610†	0,654†	-0,236	-0,503
	Антиоксидантная активность	-0,333	-0,361	0,290	0,589
	Восстанавливающая активность	-0,132	-0,662†	0,740†	0,721†
1/40 Экстракты	Железо-связывающая активность	-0,818†	0,803†	-0,454	-0,534
	Антиоксидантная активность	0,081	-0,640†	0,535	0,576
	Восстанавливающая активность	-0,224	-0,699†	0,844†	0,620†
† Корреляция достоверна					

Так, удельная скорость роста эшерихий отрицательно коррелировала с показателями Fe^{2+} -связывающей активности 1/20 и 1/40 экстрактов в начальном периоде роста (0-2 часа), но в интервале 2-4 часа – положительно коррелировала с этим параметром. Стоит отметить, что в более поздние периоды наблюдения вновь отмечалась обратная взаимосвязь между интенсивностью связывания ионов железа и удельной скоростью роста *E. coli* K12, которая, тем не менее, не являлась достоверной.

Достоверная взаимосвязь между общей антиоксидантной активностью экстрактов и удельной скоростью роста эшерихий отмечалась только в интервале 2-4 часа и лишь для низких концентраций экстракта (1/40). Следует подчеркнуть, что в более поздние периоды развития бактериальных культур отмечалась положительная корреляция между данными параметрами, которая, тем не менее, не являлась достоверной.

Восстанавливающая активность как 1/20, так и 1/40 экстрактов достоверно отрицательно коррелировала с удельной скоростью бактериального роста в интервале 2-4 часа, а в более поздние периоды наблюдения (4-6 и 6-24 часа) отмечалась положительная корреляция между этими параметрами.

Обсуждение

Полученные данные указывают на определенную «пребиотическую» (стимулирующую) активность водных экстрактов растений семейства *Plantaginacea* в отношении *E. coli* K12.

При этом пребиотическая активность положительно коррелирует с антиоксидантной и восстанавливающей активностью экстрактов, в то время как железосвязывающая способность экстрактов характеризуется отрицательной корреляцией. Предположительно, данное обстоятельство обусловлено тем фактом, что связывание железа фитохимическими соединениями, скорее всего танинами, предотвращает использование ионов железа бактериальными клетками, приводя к задержке роста эшерихий вследствие формирования железодефицита [5]. В то же время восстанавливающая активность позволяет поддерживать пул каталитически-активного железа внутри клетки путем восстановления Fe^{3+} в Fe^{2+} , создавая, тем самым, возможность повторного использования железа и предотвращая развитие железо-дефицита. Положительное влияние антиоксидантной активности экстрактов растений, возможно, обусловлено предотвращением развития окислительного стресса, кото-

рый может иметь место в условиях реализации прооксидантного действия железа [17].

Следует отметить, что указанные тенденции имеют место при длительной инкубации бактериальных культур эшерихий в присутствии водных экстрактов растений, тогда как в период со 2 по 4 час отмечается прямо противоположная зависимость между «пребиотическим» эффектом и химической активностью экстрактов. Теоретически, подобная взаимосвязь может являться следствием изменения потребности бактериальной популяции в железе в различные периоды роста кишечной палочки в культуре [20]. Однако данное предположение требует дополнительной проверки.

Заключение

Таким образом, настоящее исследование продемонстрировало наличие железо-связывающей, антиоксидантной, восстановительной, а также пребиотической активности у водных экстрактов растений семейства *Plantaginacea*, что необходимо учитывать в дальнейшем при разработке лекарственных препаратов на основе этих растений для фитомедицины.

(Фрагменты работы выполнены в рамках проекта №12-С-4-1020 Программы совместных исследований учреждений УрО и ДВО РАН)

ЛИТЕРАТУРА

1. Albach D.C., Meudt H.M., Oxelman B. Piecing together the "new" Plantaginaceae. *Am J Bot.* 2005. 92 (2): 297-315.
2. Beara I.N., Lesjak M.M., Orcic D.Z. et al. Comparative analysis of phenolic profile, antioxidant, anti-inflammatory and cytotoxic activity of two closely-related Plantain species: *Plantago altissima* L. and *Plantago lanceolata* L. *LWT-Food Science and Technology.* 2012. 47 (6): 4e70.
3. Berney M., Weilenmann H.U., Ihssen J. et al. Specific growth rate determines the sensitivity of *Escherichia coli* to thermal, UVA, and solar disinfection. *Appl Environ Microbiol.* 2006. 72 (4): 2586-2593.
4. Elli M., Cattivelli D., Soldi S. et al. Evaluation of prebiotic potential of refined psyllium (*Plantago ovata*) fiber in healthy women. *J Clin Gastroenterol.* 2008. 42 (s3 Pt2): 174-176.
5. Freidank H.M., Billing H., Wiedmann-Al-Ahmad M. Influence of iron restriction on *Chlamydia pneumoniae* and *C. trachomatis*. *J Med Microbiol.* 2001. 50 (3): 223-227.
6. Gurib-Fakim A. Medicinal plants: traditions of yesterday and drugs of tomorrow. *Mol Aspects Med.* 2006. 27 (1): 1-93.
7. Harput U.S., Genç Y., Khan N., Saracoglu I. Radical scavenging effects of different Veronica species. *Rec Nat Prod.* 2011. 5 (2): 100-107.
8. Harput U.S., Varel M., Nagatsu A., Saracoglu I. Acylated iridoid glucosides from *Veronica anagallisaquatica*. *Phytochemistry*, 2004. 65 (14), 2135-2139.
9. Hostettmann K., Marston A. Twenty years of research into medicinal plants: results and per-

- spectives. *Phytochem Rev.* 2002. 1 (3): 275-285.
10. Khokhar S., Owusu A.R.K. Iron binding characteristics of phenolic compounds: some tentative structure–activity relations. *Food Chem.* 2003. 81 (1): 133-140.
 11. Kumaran A., Karunakaran J.R. In vitro antioxidant activities of methanol extracts of five *Phyllanthus* species from India. *LWT-Food Science and Technology.* 2007. 40 (2): 344-352.
 12. Oyaizu M. Studies on product of browning reaction prepared from glucose amine. *Japanese Journal of Nutrition.* 1986. 44: 307–315.
 13. Pandey K.B., Rizvi S.I. Plant polyphenols as dietary antioxidants in human health and disease. *Oxid Med Cell Longev.* 2009. 2 (5): 270-278.
 14. Prieto P., Pineda M., Aguilar M. Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: Specific application to the determination of vitamin E. *Anal Biochem.* 1999. 269: 337-341.
 15. Pulido R., Bravo L., Saura-Calixto F. Antioxidant activity of dietary polyphenols as determined by a modified ferric reducing/antioxidant power assay. *J Agric Food Chem.* 2000. 48 (8): 3396-3402.
 16. Samuelsen A.B. The traditional uses, chemical constituents and biological activities of *Plantago major* L. A review. *J Ethnopharmacol.* 2000. 71(1-2): 1-21.
 17. Schützendübel A., Polle A. Plant responses to abiotic stresses: heavy metal-induced oxidative stress and protection by mycorrhization. *J Exp Bot.* 2002. 53 (372): 1351-1365.
 18. Sharifa A.A., Neoh Y.L., Iswadi M.I. et al. Effects of methanol, ethanol and aqueous extract of *Plantago major* on gram positive bacteria, gram negative bacteria and yeast. *Annals Microscopy.* 2008. 8: 42-44.
 19. Stojkovic D.S., Zivkovic J., Sokovic M. et al. Antibacterial activity of *Veronica montana* L. extract and of protocatechuic acid incorporated in a food system. *Food Chem Toxicol.* 2013. 55: 209-213.
 20. Wilhelm S.W., Maxwell D.P., Trick C.G. Growth, iron requirements, and siderophore production in iron-limited *Synechococcus* PCC 7002. *Limnology and oceanography.* 1996. 41 (1): 89-97.
 21. Zivkovic J., Cebovic T., Maksimovic Z. In vivo and in vitro antioxidant effects of three *Veronica* species. *Central European Journal of Biology.* 2012. 7(3): 559-568.

Поступила 27.06.2014 г.

(Контактная информация: **Тиньков Алексей Алексеевич** – аспирант кафедры биологической химии Оренбургской государственной медицинской академии; e-mail: tinkov.a.a@gmail.com)