

УДК 581.143.6:582.734.4

Действие кремнесодержащего механокомпозита на основе рисовой шелухи и зеленого чая на рост и развитие растений-регенерантов *Fragaria* × *ananassa* Duch. при их адаптации к условиям *ex vitro*

The effect of the siliceous composites of rice husk and green tea on growth and development of *Fragaria* × *ananassa* Duch. regenerants during the adaptation to *ex vitro* conditions

Е. В. Амброс¹, С. Ю. Толузакова^{2,3}, Р. А. Городова³, Е. Г. Шаполова⁴, Т. И. Новикова¹
E. V. Ambros¹, S.Y. Toluzakova^{2,3}, R. A. Gorodova³, E. G. Shapolova⁴, T. I. Novikova¹

¹Центральный сибирский ботанический сад СО РАН, ул. Золотодолинская, 101, Новосибирск, 630090, Россия. E-mail: ambros_ev@mail.ru.

¹Central Siberian Botanical Garden, Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Zolotodolinskaya str., 101, Novosibirsk, 630090, Russia.

²Национальный исследовательский Томский государственный университет, пр. Ленина, 36, Томск, 634050, Россия. E-mail: sana74@mail.ru.

²National Research Tomsk State University, Lenina 36 st., Tomsk, 634050, Russia

³Томский сельскохозяйственный институт - филиал Новосибирского государственного аграрного университета, ул. К. Маркса, 19, Томск, 634009, Россия. E-mail: r.gorodova@mail.ru.

³Tomsk Agricultural Institute - branch of Novosibirsk State Agricultural University, Karl Marks st., 19, Tomsk, 634009, Russia

⁴Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии твердого тела и механохимии СО РАН, ул. Кутателадзе 18, Новосибирск, 630128, Россия. E-mail: shapolova@solid.nsc.ru.

⁴Institute of Solid State Chemistry and Mechanochemistry Siberian Branch of Russian Academy of Science, Kutateladze str. 18, Novosibirsk, 630128, Russia

Ключевые слова: *Fragaria* × *ananassa*, механокомпозит рисовой шелухи и зеленого чая, микроклональное размножение, растения-регенеранты, адаптация *ex vitro*, рост, развитие, приживаемость.

Key words: *Fragaria* × *ananassa*, composites of rice husk and green tea, micropropagation, micropropagated plants, adaptation to *ex vitro*, growth, development, survival ability.

Аннотация. Впервые изучено действие механокомпозита, полученного из рисовой шелухи и зеленого чая, на рост и развитие микроклонов 6 сортов *F.* × *ananassa* Duch. в процессе их адаптации к условиям *ex vitro*. Установлен стимулирующий эффект препарата как на развитие надземной массы, так и формирование корневой системы. Высота розетки достоверно увеличилась относительно контроля в 1,3–4,1 раза, длина корневой системы – в 1,1–2,0 раза, количество корней – в 1,3–1,8 раза в зависимости от генотипа.

Summary. The effect of the composites of rice husk and green tea derived by mechanochemical method on

growth and development of 6 cultivars of *F.* × *ananassa* Duch. during the adaptation to *ex vitro* conditions has been studied for the first time. The stimulating action of composite on both increment of the above-ground mass, and formation of the root system was revealed. The height of the rosette relative to the control was reliably increased by 1.3–4.1 times, the length of the root system – 1.1–2.0 times, the number of roots – 1.3–1.8 depending on the genotype.

Введение

Земляника крупноплодная (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) – одна из наиболее распростра-

ненных ягодных культур в садоводстве. Высокий адаптивный потенциал *F. ananassa* позволяет успешно выращивать ее в условиях Западной Сибири. Распространенным способом получения посадочного материала земляники крупноплодной является размножение вегетативными побегами (раметами). Однако при применении данного подхода не всегда удается получить стандартный посадочный материал из-за возможности накопления и передачи вирусных, грибных и бактериальных заболеваний от материнского растения. Использование клонального микроразмножения позволяет получить не только оздоровленный посадочный материал, но и значительно ускорить процесс коммерческого размножения сортов *F. ananassa*. Одним из сложных этапов клонального микроразмножения растений является процесс адаптации растений-регенерантов к нестерильным условиям окружающей среды. Условия культивирования *in vitro* характеризуются постоянной высокой влажностью воздуха (достигающей 100 %), пониженной освещенностью и гетеротрофным типом питания. Поэтому период адаптации *ex vitro* – это заключительный и, в то же время, стрессовый этап для микрорастений, неприспособленных к обычным условиям среды, где оптимальные параметры развития надземной части и корневой системы влияют на успешность акклиматизации растений (Nazarika, 2003). Для успешного прохождения этой стадии необходим поиск новых регуляторов роста и развития, обеспечивающих быструю и эффективную приживаемость посадочного материала. Известно, что ростостимулирующей активностью обладают препараты, содержащие кремний. Кремний оказывает существенное влияние на рост и развитие растений, повышает урожайность и улучшает качество продукции, повышает устойчивость растений к различным стрессовым воздействиям (Curtie, Epstein, 2009; Heather, Ma, 2004; Liang, 2007; Matychenkov, 2008; Perry, 2007;). Разработано большое количество синтетических кремнийсодержащих препаратов, используемых для стимуляции роста и развития растений (Dogadina, Mitrenko, 2008; Matychenkov, 2014; Sharynhan, 2005). Однако наиболее перспективно в настоящее время использование препаратов, содержащих биодоступный кремний и антиоксиданты, полученных из растительного сырья с помощью механохимических методов. В результате механохимической обработки происходит разрушение клеточных стенок растительного сырья на

фрагменты со средними размерами 100 нанометров. Такие препараты имеют повышенную растворимость, сохраняют близкий к исходному натуральный состав и поэтому наиболее эффективно усваиваются растениями. В ряде исследований показано, что комбинированные препараты из растительного сырья оказывают регулирующее и стимулирующее действие на многие биохимические и физиологические процессы растений, активируют их антиоксидантный комплекс и процессы метаболизма, стимулируют рост и корнеобразование (Lomovsky, 2013). Основной задачей тестирования комбинированных препаратов *in vitro* и *ex vitro* является определение спектра их биологической активности, а также поиск эффективных способов и доз для применения в биотехнологии растений.

Целью данного исследования было изучение действия нового регулятора роста – композита на основе биогенного диоксида кремния и катехинов, полученного методами механохимической активации из растительного сырья, на рост и развитие растений-регенерантов *F. ananassa* при адаптации к условиям *ex vitro*.

Материалы и методы

Работа проводилась на базе лаборатории биотехнологии ЦСБС СО РАН (г. Новосибирск). Объектом исследования служили растения-регенеранты *F. ananassa* из коллекции ЦСБС СО РАН, полученные методом клонального микроразмножения в возрасте четырех месяцев. При проведении эксперимента использовали следующие сорта и гибриды: 'Солнечная полянка', 'Царица', 'Улыбка июня', гибрид '5-90-21', 'Боровицкая' и 'Фестивальная'. Выбор данных сортов обусловлен перспективностью их использования в условиях Западной Сибири, благодаря повышенной устойчивости к биотическим и абиотическим факторам среды.

Композит рисовой шелухи с зеленым чаем – высокоэффективный нетоксичный регулятор роста антистрессового действия нового типа, полученный в Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН (г. Новосибирск) методом механохимической обработки растительного сырья. При совместной механической обработке растительного сырья происходит образование поверхностных комплексов кремния с катехинами за счет взаимодействия гидроксильных групп полифенолов зеленого чая с силанольными группами диоксида кремния рисовой шелухи. При добавлении воды комплексы переходят

в раствор, существенно увеличивая концентрацию водорастворимых мономерных форм кремния за счет образования комплексов с катехинами (Shapolova et al., 2012; Shapolova, Lomovsky, 2013). Препарат содержит кремнезём (15,8 %), фосфор (1,3 %) и другие макро- и микроэлементы. Доля растворимых мономерных соединений кремния в механокомпозите составляет 3 %. Дополнение препарата катехинами зеленого чая, кроме того, обуславливает его антиоксидантное и адаптогенное действие (Shapolova, Lomovsky, 2010; Zemnukhova et al., 2014).

При выращивании растений в условиях *in vitro* применяли стандартные методики культивирования (Butenko, 1964; Kalinin et al., 1980). В ходе работы использовались среды по прописи Мурасиге и Скуга – MS (Murashige, Skoog, 1962) с pH = 5,6–5,8 и Гамборга–Эвелега – B5 (Gamborg, Eveleigh, 1968) с pH = 5,5. Культивирование проводили в условиях 16-часового фотопериода, при температуре 23 ± 2 °C и освещенности 3–4 клк. Мультипликацию побегов осуществляли методом активации пазушных меристем ростовых побегов. В качестве индуктора побегообразования использовали цитокинин 6-бензиламинопурин в концентрациях 0,25–2,0 мг/л. Субкультивирование проводилось через 25–30 суток. Микрорастения укореняли на агаризованной безгормональной питательной среде по прописи MS с половинным содержанием макро- и микроэлементов и пониженным содержанием сахарозы (15 г/л). Для опыта отбирали регенеранты с высотой розетки 3,5–5,0 см, с 5–7 сформированными листьями, 2–6 корнями и корневой системой около 1,5–2,0 см. Растения вынимали из культуральных сосудов, отмывали корни от агара в дистиллированной воде, а затем помещали в вегетационные кассеты со стерильным кварцевым песком объемом 50 мл. Опытную группу растений поливали водным раствором механокомпозита рисовой шелухи и зеленого чая (концентрация 3 г/л). Препарат был разведен согласно предлагаемой разработчиком рекомендации. Контрольную группу увлажняли водным раствором, содержащим $\frac{1}{4}$ концентрации стандартных компонентов среды MS. Под каждое растение вносили 5 мл рабочего раствора путем полива. Опыты проводили в двукратной повторности, в каждом варианте было использовано от 30 до 60 регенерантов. С целью предотвращения обезвоживания, первые 10 суток растения находились в микропарнике (влажность 80–90 %), затем их выращивали в обычных усло-

виях, опрыскивая водой два раза в сутки. Полив растворами осуществляли трижды за этап через равные промежутки времени, в промежутках субстрат увлажняли дистиллированной водой. Продолжительность данного адаптационного периода составила 4 недели, при 16-ти часовом фотопериоде, температуре 23 ± 2 °C и освещенности 2–3 клк. Приживаемость растений фиксировали при появлении новых листьев в конце периода. Под приживаемостью растений понимали отношение числа укорененных растений-регенерантов к фактически высаженному числу, выраженному в процентах. Через 4 недели растения извлекали из культуральных сосудов и измеряли следующие ростовые параметры: количество листьев, количество корней, высоту розетки, длину корневой системы, определяли величину прироста данных показателей за исследуемый период.

На заключительном этапе адаптации растения извлекали из стерильного песка и пересаживали сначала в контейнеры, а через 2 недели в стаканы с почвенным субстратом объемом 150 мл, состоящим из смеси торфа с перлитом, перегноя и песка (1:1:0,5), не допуская засыпания верхушечной почки землей. Адаптацию осуществляли в условиях теплицы при 16-часовом фотопериоде, температуре 23 ± 2 °C, освещенности 15 клк и влажности воздуха 60–70 %. Высаженные растения опрыскивали и регулярно поливали. Продолжительность адаптации составила 6 недель. На данном этапе проводилась оценка качества посадочного материала по ГОСТ Р 53135-2008.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью программы Statistica для Windows, версии 6.1 программного обеспечения StatSoft, Inc. Экспериментальные данные были проверены на соответствие нормальному распределению. Для каждого показателя были рассчитаны средние значения и стандартные ошибки среднего. Так как полученные результаты не подчинялись нормальному распределению, для выявления достоверных различий между параметрами в контрольном и опытном вариантах использовали непараметрический U-критерий Манна – Уитни. Различия считали достоверными при достигнутом уровне значимости $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

Результаты исследования показали, что через 4 недели культивирования земляники крупноплодной в кассетах при поливе раствором механокомпозита рисовой шелухи и зеленого чая все

изучаемые сорта показали достаточно высокую приживаемость растений-регенерантов (99,0–100 %) по сравнению с контрольными вариантами (86,8–100 %). При использовании данного препарата выявлено повышение приживаемости растений у сортов: 'Царица', 'Фестивальная' и 'Улыбка июня', – на 13,2 %, 8,3 % и 5,9 %, соответственно (табл. 1).

Успех адаптивности регенерантов в значительной степени определяется биометрическими показателями ростовых параметров растений. В нашем эксперименте растения отличались хорошо сформированной розеткой листьев в обоих вариантах. При этом морфометрические пока-

затели количества листьев изучаемых образцов, кроме сорта 'Улыбка июня', не имели достоверно значимых отличий (рис. 1).

В то же время было обнаружено стимулирующее влияние механокомпозита на рост надземной части растений-регенерантов. Прирост высоты розетки почти у всех исследованных сортов, обработанных препаратом, достоверно превышал контрольный вариант. В зависимости от генотипа высота розетки увеличилась относительно контроля в 1,3–4,1 раза, кроме сорта 'Улыбка июня'. Возможно, это отклонение от общей тенденции роста надземной части у данного сорта связано с его генетическими осо-

Таблица 1

Влияние механокомпозита, полученного из рисовой шелухи и зеленого чая, на рост и приживаемость растений – регенерантов *F. ananassa* в условиях *ex vitro*, средний прирост за 4 недели

Вариант	Средний прирост за 4 недели				Приживаемость, %
	Высота розетки, см	Количество листьев, шт.	Длина корневой системы, см	Количество корней, шт.	
Солнечная полянка					
Контроль ¹	0,83 ± 0,16	2,56 ± 0,13 ⁴	2,96 ± 0,28	1,77 ± 0,19	100
Опыт ²	1,32 ± 0,13	2,97 ± 0,16	3,86 ± 0,23	2,98 ± 0,18	100
U-тест (p ≤ 0,05) ³	*	-	*	*	
Царица					
Контроль	0,68 ± 0,10	2,68 ± 0,12	4,48 ± 0,27	3,70 ± 0,31	86,8
Опыт	1,19 ± 0,21	2,78 ± 0,11	4,55 ± 0,33	3,15 ± 0,34	100
U-тест (p ≤ 0,05)	*	-	-	-	
Улыбка июня					
Контроль	1,59 ± 0,22	3,57 ± 0,42	1,78 ± 0,34	2,44 ± 0,23	93,1
Опыт	2,09 ± 0,19	4,41 ± 0,37	3,64 ± 0,36	2,78 ± 0,20	99,0
U-тест (p ≤ 0,05)	-	*	*	-	
Гибрид 5-90-21					
Контроль	1,27 ± 0,14	2,91 ± 0,16	2,64 ± 0,24	3,30 ± 0,30	100
Опыт	1,94 ± 0,17	2,92 ± 0,19	5,39 ± 0,35	5,89 ± 0,56	100
U-тест (p ≤ 0,05)	*		*	*	
Боровицкая					
Контроль	1,38 ± 0,12	3,02 ± 0,13	5,01 ± 0,16	2,78 ± 0,22	100
Опыт	1,78 ± 0,13	3,00 ± 0,11	5,47 ± 0,17	3,57 ± 0,23	100
U-тест (p ≤ 0,05)	*	-	*	*	
Фестивальная					
Контроль	0,46 ± 0,08	4,03 ± 0,16	5,58 ± 0,33	2,90 ± 0,21	91,7
Опыт	1,88 ± 0,18	3,71 ± 0,15	6,88 ± 0,37	3,33 ± 0,28	100
U-тест (p ≤ 0,05)	*	-	*	-	

- Примечания: 1 – Обработка водным раствором 1/4 концентрации MS.
 2 – Обработка водным раствором механокомпозита, 3 г/л.
 3 – Наличие достоверных различий по U- критерию (при p ≤ 0,05).
 4 – Среднее значение показателя ± стандартная ошибка среднего.

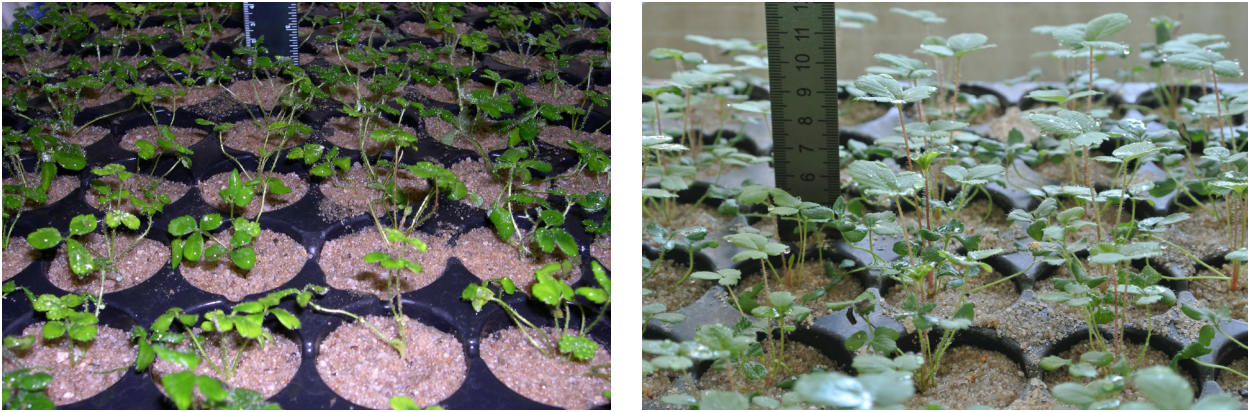


Рис. 1. Адаптация растений-регенерантов земляники крупноплодной (сорт 'Боровицкая') в стерильном песке после обработки механокомпозитом, полученным из рисовой шелухи и зеленого чая, через: 1 неделю (слева); 4 недели адаптации (справа).



Рис. 2. Регенеранты земляники крупноплодной (сорт 'Солнечная полянка') после адаптации в стерильном песке: контроль (слева), б) обработка механокомпозитом (20-е сутки) (справа).

бенностями. Положительное влияние кремния на рост надземных органов растения *F. Adams* (1980) объясняет усилением фосфорилирования сахаров, что в свою очередь увеличивает поступление энергии для метаболических процессов и синтеза сахаров.

Успешная пересадка пробирочных растений в нестерильные условия обусловлена целым рядом факторов, из которых для земляники состояние корневой системы играет далеко не последнюю роль. Известно, что дефицит кремния и фосфора служит одним из лимитирующих факторов раз-

вития корневой системы растений (Kolesnikov, 2001; Savant et al., 1997). В нашем эксперименте было показано положительное влияние обработки механокомпозитом на основе рисовой шелухи и зеленого чая на рост корневой системы растений-регенерантов (табл. 1). Почти у всех исследованных сортов, обработанных препаратом, наблюдался более интенсивный прирост корней, по сравнению с контрольными вариантами. Длина корневой системы достоверно увеличивалась в 1,1–2,0 раза в зависимости от генотипа. У сорта 'Царица' увеличение этого показателя оказалось недостоверным, хотя тенденция к увеличению длины корневой системы также наблюдалась. Регенеранты сортов 'Боровицкая', 'Солнечная полянка' и гибрида '5-90-21', обработанные препаратом, сформировали достоверно большее число корней по сравнению с контрольными вариантами. Количество корней увеличивалось в 1,3–1,8 раза соответственно по сравнению с контрольной группой (рис. 2). Эти данные согласуются с результатами исследований, указывающими, что, оптимизация минерального питания повышает эффективность фотосинтеза и активность

корневой системы (Kudinova, 1975; Takahashi, Ma, 1991; Wang, Galetta, 1998).

После адаптации в песке растения переносили в контейнеры с почвенным субстратом, а затем в стаканы с той же смесью. Приживаемость на данном этапе составила 99,9 %. В конце адаптационного периода рассада соответствовала требованиям, предъявляемым к посадочному материалу земляники крупноплодной с закрытой корневой системой (ГОСТ Р 53135-2008) (рис. 3).

Заключение

Полученные результаты подтверждают положительный синергический эффект активных компонентов и антиоксидантов механокомпозита, полученного из рисовой шелухи и зеленого чая, на процессы роста и развития растений-регенерантов разных сортов земляники крупноплодной, полученных путем микроклонального размножения, в ходе их адаптации к условиям *ex vitro*. Это позволяет рекомендовать данный препарат для использования на этапе адаптации растений к нестерильным условиям.



Рис. 3. Укорененные растения сорта 'Царица' в почвенном субстрате через: а) 2 недели адаптации (контейнеры с почвогрунтом); б) 6 недель адаптации (стаканы с почвогрунтом).

ЛИТЕРАТУРА

- Adams F.** Interaction of phosphorus with other elements in soil and in plants // Proc. Symp. The Role of Phosphorus in Agriculture. Am. Soc. Agron. – Madison, WI, 1980. – P. 655.
- Butenko R. G.** Tissue culture and physiology of morphogenesis of plants. – Moscow: Nauka, 1964. – 272 p. [In Russian]. (**Бутенко Р. Г.** Культура изолированных тканей и физиология морфогенеза растений. – М.: Наука, 1964. – 272 с.).
- Currie H. A., Perry C. C.** Silica in Plants: Biological, Biochemical and Chemical Studies // Ann. Bot., 2007. – Vol. 100, No. 7. – P. 1383–1389.
- Dogadina M. A., Mitrenko D. A.** The effect of the Mival-Agro of bioorganic siliceous plant growth promoter on crops productivity // Bulletin of the Orel State University [Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo universiteta], 2008. – No. 3. – P. 24–28 [In Russian]. (**Догадина М. А., Митренко Д. А.** Влияние биокремнийорганического стимулятора роста растений Мивал-Агро на продуктивность зерновых культур // Вестник ОрелГАУ, 2008. – № 3. – С. 24–28).
- Epstein E.** Silicon: its manifold roles in plants // Ann. Appl. Biol. – 2009. – Vol. 155, No. 2. – P. 155–160.

Gamborg O. L., Eveleigh D. E. Culture methods and detection of glucanases in suspension cultures of wheat and barley // *Can. J. Biochem.*, 1968. – Vol. 46, No. 5. – P. 417–421.

GOST R 53135-2008. Planting material of fruit, berry, subtropical, nuts, citrus cultures and tea. Technical conditions. – Moscow: Standartinform, 2009. – 41 p. [In Russian]. (ГОСТ Р 53135-2008. Посадочный материал плодовых, ягодных, субтропических, орехоплодных, цитрусовых культур и чая. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2009. – 41 с.)

Hazarika B. N. Acclimatization of tissue-cultured plants // *Current Science*, 2003. – Vol. 85, No. 12. – P. 1704–1712.

Kalinin D. F., Sarnackaja V. V., Polishhuk V. E. Methods of tissue culture in physiology and biochemistry of plants. – Kiev: Nauk. Dumka, 1980. – 488 p. [In Russian]. (Калинин Д. Ф., Сарнацкая В. В., Полищук В. Е. Методы культуры тканей в физиологии и биохимии растений. – Киев: Наук. Думка, 1980. – 488 с.)

Kolesnikov M. P. Silicon forms in plants // *Advances in Biological Chemistry [Uspehi biologicheskoy himii]*, 2001. – Vol. 41. – P. 301–332 [In Russian]. (Колесников М. П. Формы кремния в растениях // Успехи биологической химии, 2001. – Т. 41. – С. 301–332).

Kudinova L. I. The effect of silicon on growth, size of leaf area and adsorptive surface of plant roots // *Agrochemistry [Agrohimiya]*. 1975. – No. 10. – P. 117–120 [In Russian]. (Кудинова Л. И. Влияние кремния на рост, величину площади листьев и адсорбционную поверхность корней растений // Агрохимия, 1975. – № 10. – С. 117–120).

Liang Y., Sun W., Zhu Y-G., Christie P. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants: a review // *Environmental Pollution*. 2007. – Vol. 147. – P. 422–428.

Lomovsky I. O. Mechanochemical reaction of plant phenolic compounds and their technological application: Abstracts of the thesis for the scientific degree of candidate of chemical sciences [Avtoref. dis. ... kand. him. nauk]. – Novosibirsk, 2013. – 26 p. [In Russian]. (Ломовский И. О. Механохимические реакции фенольных соединений растительного происхождения и их технологическое применение: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. – Новосибирск, 2013. – 26 с.)

Ma J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses // *Soil Sci. Plant Nutr.*, 2004. – Vol. 50. – P. 11–18.

Matychenkov V. V. The role of mobile compounds of silicon in plants and soil-plant system: Abstracts of the thesis for the scientific degree of doctor of biological sciences [Avtoref. dis. ... dokt. biol. nauk]. – Pushhino, 2008. – 34 p. [In Russian]. (Матыченков В. В. Роль подвижных соединений кремния в растениях и системе почва-растение: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Пушкино, 2008. – 34 с.)

Matychenkov I. V. Cumulative influence of silicon, phosphorus and nitrogen fertilizers in the soil-plant system: Abstracts of the thesis for the scientific degree of candidate of biological sciences [Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk]. – Moscow, 2014. – 31 p. [In Russian]. (Матыченков И. В. Взаимное влияние кремниевых, фосфорных и азотных удобрений в системе почва-растение: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2014. – 31 с.)

Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // *Physiol. Plant.*, 1962. – Vol. 15, No. 3. – P. 473–497.

Savant N. K., Snyder G. H., Datnoff L. E. Silicon management and sustainable rice production // *Adv. Agron.*, 1997. – Vol. 58. – P. 158–199.

Shapolova E. G., Lomovsky O. I. Fodder meal of rice husks and green tea for agricultural and non-productive animals and the method of its preparation // Patent of Russian Federation [patent Rossijskoj Federacii]. – No. RU 2438344 C1 ot 13.09.2010 [In Russian]. (Шаполова Е. Г., Ломовский О. И. Кормовая мука из рисовой лузги и зеленого чая для сельскохозяйственных и непродуктивных животных и способ ее получения // Пат. РФ. № RU 22438344C1 от 13.09.2010).

Shapolova E. G., Bychkov A. L., Lomovsky O. I. Mechanochemical processing of agricultural wastes into complex feed additives for animals // *Journal of International Scientific Publications: Ecology and Safety.*, 2012. – Vol. 6, No. 3. – P. 65–77.

Shapolova E. G., Lomovsky O. I. Mechanochemical solubilization of silicon dioxide with polyphenol compounds of plant origin // *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 2013. – Vol. 39, No. 7. – P. 765–770.

Sharynhan D. G. Synthetic and natural biostimulators of Mongolia: Abstracts of the thesis for the scientific degree of doctor of chemical sciences [Avtoref. ... dokt. him. nauk]. – Irkutsk, 2005. – 49 p. [In Russian]. (Шарынхан Д. Г. Синтетические и природные биостимуляторы Монголии: Автореф. дисс. ... докт. хим. наук. – Иркутск, 2005. – 49 с.)

Takahashi E., Ma J. F. The possibility of silicon as an essential element for higher plants // *Agricultural and Food Chemistry*, 1991. – Vol. 2, No. 3. – P. 188–194.

Wang S. Y., Galletta G. J. Foliar application of potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants // *Journal of Plant Nutrition*, 1998. – Vol. 21, No. 1. – P. 157–167.

Zemnukhova L. A., Panasenko A. E., Tsoi E. A., Fedorishcheva G. A., Shapkin N. P., Artem'yanov A. P., Maiorov V. Y. Composition and structure of amorphous silica produced from rice husk and straw // *Inorganic Materials*, 2014. – Vol. 50, No. 1. – P. 75–81.