

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ТКАНЕЙ
ПРИВИТЫХ ПЛОДОВЫХ КУЛЬТУР

Е.Е. ГУЖОВА, Е.Г. САМОЩЕНКОВ, Л.А. ПАНИЧКИН, А.К. РАДЖАБОВ

(РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

На кафедре плодородства, виноградарства и виноделия совместно с кафедрой физиологии растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева в 2012–2018 гг. разработан способ диагностики качества срастания компонентов прививки методом электропроводности с использованием кондуктометра «Эксперт – 002» для определения жизнеспособности привитых растений на начальном этапе срастания компонентов прививок.

При разработке указанного способа отработана методика измерения электропроводности на привойно – подвойных комбинациях плодовых культур, в которой учитывалось возможное влияние ряда факторов, не связанных с самим процессом срастания тканей компонентов прививок, на получаемый результат.

При регистрации динамики электропроводности в разных температурных условиях полученные данные необходимо приводить к температуре исходного измерения, используя поправочные коэффициенты. После введения измерительных электродов в ткани растения отсчет значений электропроводности проводить не ранее, чем через 10–12 секунд. Определены существенные различия значений электропроводности при расположении электродов «над и под» почкой, и менее значимые – слева/справа и с обратной стороны почки. Существуют и различия между показаниями электропроводности, связанными с ориентацией побегов относительно сторон света. При регистрации динамики электропроводности не рекомендуется смещать измерительные электроды относительно первоначальных точек измерения: по длине черенка более чем на 10 мм и на 1–2 мм по его окружности.

Даны рекомендации по методике измерения электропроводности тканей плодовых культур и вычислены поправочные коэффициенты. Результаты данной методики могут быть использованы при изучении сорто-подвойных комбинаций, в исследовательской практике, а также для экспресс-диагностики состояния прививок в практическом питомниководстве.

Ключевые слова: электропроводность тканей, разность биопотенциалов, ткани одностебельных побегов, яблоня, слива, айва, груша

Введение

Изучение совместимости привойно-подвойных комбинаций имеет важное практическое и научное значение. Существуют различные методы исследования, связанные с диагностикой срастания компонентов прививок. Большинство из них отличается трудоёмкостью [4], длительностью проведения [1], субъективностью оценки [3] и длительными сроками оценки [2].

Способ диагностики качества срастания компонентов прививки методом электропроводности (ЭП) с использованием кондуктометра «Эксперт – 002», позволил

определять жизнеспособность привитых растений на начальном этапе срастания компонентов прививок [7, 8].

В данной работе отрабатывали методику, в которой учитывалось возможное влияние ряда факторов, не связанных с самим процессом срастания тканей компонентов прививок, на получаемый результат.

Цель данной работы – исследование зависимости электропроводности тканей растений плодовых культур от влияния следующих факторов:

- температуры окружающей среды,
- временного интервала (в секундах) для снятия показаний после введения электродов,
- места расположения электродов на однолетнем побеге.

Материал и методика

Объектами исследования были однолетние побеги яблони (Антоновка, Папировка), груши (Чижовская), айвы (Сусова) и сливы (Тульская черная, Волжская красавица).

Измерения электропроводности тканей прививок осуществляли кондуктометром «Эксперт – 002». Использовали игольчатые электроды из нержавеющей стали, закрепленные на фиксированном расстоянии – 30 мм в легком переносном держателе. Электроды вводили в прикамбиальные ткани на глубину 1 мм [7]. В ранее полученных результатах значения ЭП тканей однолетних приростов, со стандартными диаметрами 6–8 мм, находились в диапазоне 150–300 мкСм [7, 8]. Опыты по исследованию влияния вышеперечисленных факторов на значения ЭП тканей привитых растений представлены ниже.

Результаты и обсуждение

1. Влияние температуры окружающей среды на показания электропроводности тканей однолетних побегов.

В практике процессы, связанные с технологическими этапами проведения прививок, происходят обычно в диапазоне температур от +5°C до +25°C [6]. При температуре выше +25°C повышается интенсивность дыхания и, как следствие, увеличивается расход пластических веществ, что является отрицательным фактором для формирования качественного срастания компонентов прививки [5]. Диапазон температур от +5°C до +25°C был разбит на три интервала: +5–25°C, +10–25°C и +15–25°C. Объектами исследования были черенки яблони и сливы, по 5 черенков для каждого интервала температур. Начальное измерение ЭП для всех черенков проводили при температуре +25°C, а затем их помещали в холодильные камеры с температурным режимом +5°C, +10°C и +15°C. Измерение значений ЭП каждого черенка проводилось в 4-х кратной повторности. Полученные данные использовали для определения поправочного коэффициента (табл. 1).

На основании полученных данных определили следующие усреднённые поправочные коэффициенты при изменении температуры на 1°C: для яблони $K = 1,55\%/^{\circ}\text{C}$, для сливы $K = 1,36\%/^{\circ}\text{C}$.

Например, начальное значение ЭП было 258 мкСм при температуре 25°C. Повторное измерение ЭП проводим при температуре 5°C, оно составило 177,7 мкСм, т.е. разница в ЭП: $258 - 177,7 = 80,3$ мкСм.

В процентном отношении снижение ЭП: $80,3 * 100 / 258 = 31,1\%$.

Таким образом, при снижении температуры на 1°C, понижение электропроводности составляет $31,1\% / 20^{\circ}\text{C} = 1,55\%/^{\circ}\text{C}$.

Пример. Первичное измерение электропроводности тканей побега яблони было проведено при 15°C и составило 200 мкСм, повторное измерение через 3 дня при 20°C – 250 мкСм. Определим фактическое значение ЭП тканей побега, исключив влияние температуры. Температура изменилась на 5°C, что повышает ЭП на: $1,55\%/^{\circ}\text{C} \times 5^{\circ}\text{C} = 7,75\%$

$$200 \text{ мкСм} \times 7,75\% / 100\% = 16,5 \text{ мкСм.}$$

Следовательно, фактическое изменение ЭП соответствует

$$250 \text{ мкСм} - 16,5 \text{ мкСм} = 238,5 \text{ мкСм.}$$

Таблица 1

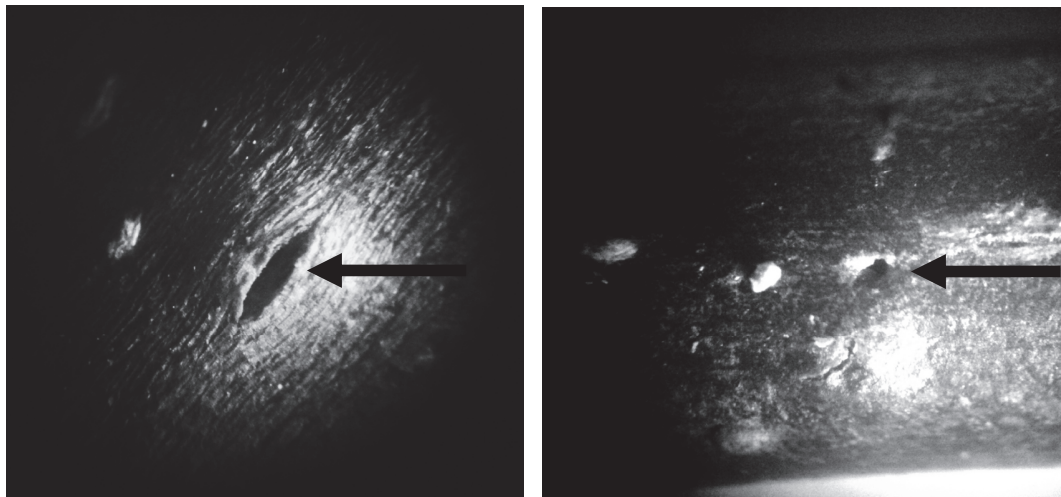
Значения электропроводности тканей черенков при разных температурах и поправочные коэффициенты к ним

Культура	Температура, °C					
	Интервал 1		Интервал 2		Интервал 3	
Яблоня (Антоновка)	25	15	25	10	25	5
	228,1±29,3	193,1±28,6	248,3±30,1	189,9±25,3	258±24,1	177,7±25,6
Средние знач. ЭП, мкСм						
Понижение ЭП, %	15,3		23,5		31,1	
Поправочный коэффициент К %/°C	1,53		1,56		1,55	
Слива (Волжская красавица)	25	15	25	10	25	5
Средние знач. ЭП, мкСм К %/°C	198,5±28,2	169,6±25,4	181±24,8	146,6±26,7	191,1±31,0	140,1±26,7
Понижение ЭП, %	14,5		19		26,9	
Поправочный коэффициент	1,45		1,26		1,33	

Следует также отметить, что фактические значения ЭП тканей растений могут меняться в связи с разными климатическими условиями произрастания растений и качеством вызревания их побегов. Следовательно, рекомендуется проводить уточнение поправочного коэффициента для каждого эксперимента отдельно.

2. Время восстановления разности биопотенциалов прикамбиальных тканей черенка после раздражения их игольчатыми электродами.

При измерении ЭП прикамбиальных тканей растению наносится небольшая травма, что вызывает раздражение тканей и биоэлектрическую реакцию (БЭР).



(А) увел. $\times 40$

(Б) увел $\times 30$

Рис. 1. Травмирование тканей черенка игольчатым электродом (стрелкой показаны места введения электрода у яблони (А) и сливы (Б))

Амплитуду и продолжительность БЭР регистрировали рН-метром-иономером «Эксперт – 001» и 2-мя хлорсеребряными электродами с солевыми мостиками [8]. Регистрирующий электрод контактировал с раздражаемым участком черенка, а электрод сравнения – с его базальной частью. Опыты проводили на непривитых черенках яблони, груши и сливы. Регистрацию БЭР осуществляли на компьютере с программным обеспечением Exp2Pr. После стабилизации разности биопотенциалов, в ткань черенка вводили электроды, используемые при измерении ЭП. В момент введения электродов в ткани черенков наблюдали резкое понижение значений биоэлектрического потенциала – БЭП (от -30 до -70 мВ) и последующее восстановление разности БЭП в течение 10 ± 2 сек. Следовательно, рекомендуется при повторном измерении ЭП электроды не вводить в одно и то же место в связи с деструкцией тканей, при этом отсчет значений ЭП осуществлять через 10–12 секунд.

3. Сравнение значений электропроводности у различных плодовых культур в зависимости от диаметра по длине побега.

Для опыта было взято по пять побегов с периферийных частей крон яблони, груши, сливы, айвы, на которых измеряли длину побега и через каждые 9 см – диаметр побега, а через каждые 3 см – электропроводность тканей. Результаты измерений были сведены в таблицу 2.

Наибольшие значения электропроводности при максимальном диаметре 9 мм были у груши: 346 ± 29 мкСм и яблони: 308 ± 15 мкСм, у сливы были немного меньшие значения электропроводности: 265 ± 17 мкСм, а у айвы значения были ещё ниже: 150 ± 19 мкСм. Для определения изменения электропроводности в случае необходимости возможно смещение электродов на 1 см по длине черенка. Так для яблони, при длине побега 63 см, изменение электропроводности равно примерно 1,5 мкСм, т.е. около 0,7%. Для груши, соответственно, 2,6 мкСм, т.е. 1,1%; для сливы – 1,7%; для айвы – 1%. Следовательно, можно принять погрешность в изменении значений электропроводности для всех исследуемых культур не более 1,7%.

Таблица 2

**Значения электропроводности тканей однолетних побегов плодовых культур
в зависимости от их длины и диаметра**

Культура	Значения ЭП, мкСм		Длина побегов, см	Диапазон диаметров побега, мм
	Минимальные	Максимальные		
Яблоня	220±20	308±15	60±10	3,5...9
Груша	230±17	346±29	45±5	3...9
Слива	152±13	265±17	42±5	3...8
Айва	84±11	150±19	80±10	3...8
НСР ₀₅	10,8	13,5	-	-

4. Сравнение значений электропроводности у различных плодовых культур в зависимости от ориентации побега в кроне и по окружности побега.

Известно, что черенки для зимней прививки заготавливают в начале зимы, до наступления сильных морозов, так как подмерзшие черенки плохо приживаются. Для прививки используют однолетние приросты с периферийных и освещенных частей кроны с хорошо вызревшей древесиной, длиной 30–50 см и диаметром 6–10 мм [6].

Электропроводность тканей побегов семечковых и косточковых культур с диаметром 7±0,3 мм измеряли по окружности побега в зависимости от частей света (табл. 3).

Таблица 3

**Значения электропроводности тканей однолетних побегов в междоузлиях
по окружности, в зависимости от ориентации побега в кроне**

Культура	Электропроводность, мкСм			
	Южная сторона побега	Северная сторона побега	Западная сторона побега	Восточная сторона побега
Яблоня	275	244	251	250
Яблоня	243	224	232	236
Яблоня	346	230	-	-
Средние значения ЭП	288±26,4	233±5,1	242±6,7	243±4,9
Слива	252	235	242	235
Слива	208	200	201	195
Слива	218	190	191	213
Средние значения ЭП	226±11,5	208±12	211±13,5	214±10

Наибольшие значения электропроводности у изучаемых побегов наблюдали с южной стороны, а наименьшие – с северной, как у яблони, так и у сливы. Между значениями ЭП с восточной, западной и северной стороны не обнаружено существенной разницы.

Для повторных измерений ЭП, необходимо определить величину погрешности при перемещении измерительного электрода на 1 мм по длине окружности побега. Произведём расчет значений электропроводности при смещении электродов влево или вправо от южной стороны побега. При диаметре побега 7 мм длина окружности составит 22 мм, тогда реперные точки (юг, восток, север, запад) будут размещаться на 5,5 мм друг от друга. Значения реперных точек приведены в таблице 3.

Расчёт процентного отклонения значений ЭП показал, что для максимальных значений отклонения между южной и восточной сторонами побега яблони: $(275-250) \text{ мкСм} / 5,5 \text{ мм} = 4,5 \text{ мкСм/мм}$, что соответствует 1,7% от первоначального значения. Это отклонение является максимальным. Остальные отклонения имеют меньшие значения.

При перемещении электродов по длине побега на 1 см вверх или вниз от первоначальной точки замера, либо при перемещении его по окружности влево или вправо на 1 мм, погрешность значений не превышает 1,7%. Следовательно, при регистрации динамики электропроводности зона введения электродов в ткань растения должна быть по длине побега 10 мм и по окружности побега 1–2 мм в любую сторону. На данной площади можно сделать около 60 замеров.

5. Сравнение значений электропроводности тканей на побегах плодовых культур при расположении электродов вблизи почки.

Опыты проведены на 5-ти побегах яблони с диаметрами 5,2–6,3 мм. Данные приведены в таблице 4.

Таблица 4.

Распределение значений электропроводности по окружности черенков яблони вблизи почек.

Культура	Значения электропроводности, мкСм				Процент отклонения значений под и над почкой, %	Процент отклонения значений справа и слева от почки, %
	Над почкой	Под почкой	Слева от почки	Справа от почки		
Яблоня	235,1	250,3	250,5	250,3	6,5	0,1
	230,3	258,7	243	239	12,3	1,6
	173,6	207,4	190,8	186,1	19,5	2,5
	216	260	252	245	20,4	2,8
	115,4	154,5	139,4	135,3	33,9	2,9
Средние значения	194,1±25	226,2±22,7	215,1±24,6	211,1±24,8	18,5	1,9

Большее значение электропроводности наблюдалось под почкой. Максимальное отклонение значений электропроводности под почкой и над почкой достигало 33,9%. В то время как разность показаний электропроводности справа и слева от почки была не более 3%.

Данные, приведенные в таблице, показывают, что наилучшее расположение электродов для измерения значений электропроводности находились справа или слева от почки.

Заключение

При регистрации динамики ЭП в разных температурных условиях полученные данные необходимо приводить к температуре исходного измерения, используя поправочные коэффициенты.

После введения измерительных электродов в ткани растения отсчет значений электропроводности следует проводить не ранее, чем через 10–12 секунд.

При регистрации динамики электропроводности не рекомендуется смещать измерительные электроды относительно первоначальных точек измерения: по длине черенка более чем на 10 мм и на 1–2 мм по его окружности.

Определены существенные различия значений электропроводности при расположении электродов «над и под» почкой, и менее значительные – слева/справа. Введение электродов в ткани побега следует осуществлять слева или справа от почки.

Библиографический список

1. *Дорошенко Т.Н.* Биологические основы ранней диагностики перспективных сорто-подвойных комбинаций плодовых культур для создания высокоурожайных промышленных садов: автореф. дисс. д-ра с.-х. наук. – Краснодар, 1991. 48с.
2. *Карасев В.Н., Карасева М.А., Пасынков Д.А., Коврига В.А.* Оценка приживаемости и состояния привоев на лесосеменных плантациях сосны обыкновенной по электрическому сопротивлению растительных тканей. МарГТУ, Йошкар-Ола – 2011: [Электронный ресурс] // http://science-bsea.narod.ru/2011/les_2011/karasev_ocenka.htm (дата обращения 10.12.2018)
3. *Коровин В.А.* Совместимость привоя и подвоя яблони. – М.: Колос, 1979. 127 с.
4. *Кръстев М.Т., Бондорина И.А.*, Биологические основы прививки древесных растений при интродукции. – М.: Изд-во КМК, 2014. 176с.
5. *Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А.*, Физиология растений. – М.: Изд-во Высшая школа, 2006. 742 с.
6. Методическое указание. Зимняя прививка (технология проведения и выращивания плодовых саженцев на ее основе) – М.: Изд-во МСХА 2000. 39 с.
7. *Паничкин Л.А., Самощенко Е.Г., Гужова Е.Е.*, Способ диагностики качества срастания компонентов прививки, Патент № 2588545, М., 2016.
8. *Худина Е.Е. (Гужова Е.Е.), Самощенко Е.Г., Паничкин Л.А.*, Динамика электропроводности и биопотенциалов тканей груши в зависимости от степени срастания привойно-подвойных компонентов // Плодоводство и ягодоводство России, 2014. Т. XXXIX. С. 244–248.

METHODS OF MEASURING THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF GRAFTED FRUIT CROP TISSUES

YE.YE. GUZHOVA, YE.G. SAMOSHENKOV, L.A. PANICHKIN, A.K. RADZHABOV

(Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

In 2012–2018, researchers of the Department of Fruit Growing, Viticulture and Wine-Making together with the Department of Plant Physiology of RSAU – Moscow Timiryazev Agricultural Academy developed a quality evaluation method of the accretion graft components. This diagnostic method is based on measuring electrical conductivity by the “Expert-002” to determine the viability of grafted plants at the initial stage of the accretion of the graft components.

When elaborating this technique, the method of measuring electrical conductivity was tried out on graft – rootstock combinations of fruit crops, which took into account the possible influence of a number of factors not related to the process of tissue accretion of the graft components on the results obtained.

When registering the dynamics of electrical conductivity in different temperature conditions, it is necessary to put the obtained values of conductivity in correspondence with reference temperature using correction factors. After the introduction of the measuring electrodes in the plant tissue, the readings of the electrical conductivity values should be carried out no earlier than after 10–12 seconds.

The authors have detected essential distinctions of values of conductivity at measurement “over and under” a bud, and less significant – “on the left/on the right” of a bud. There are also differences between indications of conductivity measured in the one-year shoots located in a crown depending on geographical cardinal directions. It is not recommended to displace measuring electrodes of rather reference points of measurement when registering the dynamics of electrical conductivity. The maximum displacement of electrodes should be 10 mm along the shoot length and 1–2 mm around the shoot circumference.

The paper offers recommendations on the method of measuring the electrical conductivity of fruit crop tissues and provides the calculated correction factors. The results of this methodology can be used in the study of rootstock/scion combinations, in research practice, as well as for the express diagnostics of graft accretion quality in practical nursery.

Key words: *electrical conductivity of tissues, biopotential difference, tissues of one-year shoots, apple tree, plum tree, quince tree, pear tree.*

References

1. *Doroshenko T.N.* Biologicheskiye osnovy ranney diagnostiki perspektivnykh sorto-podvoynykh kombinatsiy plodovykh kul'tur dlya sozdaniya vysokourozhaynykh promyshlennykh sadov [Biological basis for the early diagnosis of promising variety-rootstock combinations of fruit crops for the development of high-yielding industrial gardens]: Self-review of DSc (Ag) thesis. – Krasnodar, 1991. 48 p.

2. *Karasev V.N., Karaseva M.A., Pasyukov D.A., Kovriga V.A.* Otsenka prizhi-vayemosti i sostoyaniya privoyev na lesosemennykh plantatsiyakh sosny obyknovennoy po elektricheskomu soprotivleniyu rastitel'nykh tkaney [Assessment of survival rate and the status of grafts on pine seedlings of Scots pine by the electrical resistance of plant tissues]. MarGTU, Yoshkar-Ola – 2011: [Electronic resource] // http://science-bsea.narod.ru/2011/les_2011/karasev_ocenka.htm (access date: 10.12.2018)

3. *Korovin V.A.* Sovmestimost' privoya i podvoya yabloni [Compatibility of a graft and a rootstock in an apple tree]. – Moscow: Kolos, 1979. 127 p.

4. *Krstev M.T., Bondorina I.A.* Biologicheskiye osnovy privivki drevesnykh rasstaniy pri introduktsii [Biological basics of grafting woody plants during the introduction]. – Moscow: Izd-vo KMK, 2014. 176 p.

5. *Kuznetsov V.V., Dmitrieva G.A.*, Fiziologiya rasteniy [Plant physiology]. – Moscow: Izd-vo Vysshaya shkola, 2006. 742 p.

6. Metodicheskoye ukazaniye. Zimnyaya privivka (tekhnologiya provedeniya i vyrashchivaniya plodovykh sazhentsev na yeye osnove) [Methodical instruction. Winter vaccination (production technology and the cultivation of fruit seedlings on its basis)] – Moscow: Izd-vo MSKHA 2000. 39 p.

7. *Panichkin L.A., Samoshchenkov Ye.G., Guzhova Ye.Ye.* Sposob diagnostiki kachestva srastaniya komponentov privivki [Method for diagnosing the intergrowth quality of vaccination components], Patent No. 2588545, Moscow, 2016.

8. *Khudina Ye.Ye. (Guzhova Ye.Ye.), Samoshchenkov E.G., Panichkin L.A.*, Dinamika elektroprovodnosti i biopotentsialov tkaney grushi v zavisimosti ot stepeni srastaniya privoyno-podvoynykh komponentov [Dynamics of electrical conductivity and biopotentials of pear tissue depending on the accretion degree of graft-rootstock components] // Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii, 2014. – Vol. XXXIX. – Pp. 244–248.

Гужова Екатерина Евгеньевна – асп. кафедры плодородства, виноградарства и виноделия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва ул. Тимирязевская, 49; e-mail: kguzhova@list.ru)

Самошенко Егор Григорьевич – к.с.-х.н., проф., зав.каф. плодородства, виноградарства и виноделия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва ул. Тимирязевская, 49; e-mail: plod@rgau-msha.ru)

Паничкин Леонид Александрович – д.б.н., проф. кафедры физиологии растений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва ул. Тимирязевская, 49; e-mail: leon.pani4kin09@yandex.ru)

Раджабов Агамагомед Курбанович – д. с.-х. н., проф., декан факультета садоводства и ландшафтной архитектуры РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, г. Москва ул. Тимирязевская, 49; e-mail: plod@rgau-msha.ru)

Yekaterina Ye. Guzhova – postgraduate student, the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, 127550, Timiryazevskaya Str., 49; e-mail: kguzhova@list.ru).

Yegor G. Samoshchenkov – PhD (Ag), Professor, Head of the Department of Fruit Growing, Viticulture and Winemaking, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, 127550, Timiryazevskaya Str., 49; e-mail: plod@rgau-msha.ru).

Leonid A. Panichkin – DSc (Bio), Professor, the Department of Plant Physiology, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, 127550, Timiryazevskaya Str., 49; e-mail: leon.pani4kin09@yandex.ru).

Agamagomed K. Radzhabov – Dean of the Faculty of Horticulture and Landscape Architecture, DSc (Ag), Professor, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Moscow, 127550, Timiryazevskaya Str., 49; e-mail: plod@rgau-msha.ru).