

УДК 634.723.1:631.533.3:581.143.6:631.82

## СТРУКТУРА ПОТРЕБЛЕНИЯ РАСТЕНИЯМИ-РЕГЕНЕРАНТАМИ СМОРОДИНЫ ЧЁРНОЙ МИНЕРАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД ПРИ КУЛЬТИВИРОВАНИИ IN VITRO

Н.В. Кухарчик<sup>1</sup>, Е.В. Колбанова<sup>1</sup>, Л.Ю. Тычинская<sup>2</sup>, Г.Д. Полешко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>РУП «Институт плодородия»,

ул. Ковалева, 2, аг. Самохваловичи, Минский район, 223013, Беларусь,

e-mail: belhort@it.org.by

<sup>2</sup>ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси»,

ул. Сурганова, 13, г. Минск, 220072, Беларусь

### РЕЗЮМЕ

Установлено потребление минеральных компонентов питательных сред растениями-регенерантами смородины чёрной в культуре in vitro. На этапе микроразмножения отмечено существенное снижение концентрации большинства ионов в питательной среде: максимальное для  $\text{NH}_4^+$  (80,11–87,17 % от исходного количества в среде), на  $\frac{1}{3}$  часть уменьшается количество  $\text{K}^+$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . Несколько меньше потребляется микрорастениями  $\text{Ca}^{2+}$  (15,62 %–21,09 %). Отмечена разница и в поглощении анионов из питательной среды. Максимально использовались ионы  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (58,48–62,28 %) и  $\text{NO}_3^-$  (56,75 %–62,02 %) и на  $\frac{1}{3}$  ионы  $\text{Cl}^-$  и  $\text{SO}_4^{2-}$ .

На этапе укоренения растения-регенеранты смородины чёрной максимально поглощают из питательной среды  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (в среднем 88,5 %). Хорошо усваивается азот, как в нитратной (до 64,37 %), так и в аммонийной форме (до 76,88 %). Поглощение иона  $\text{SO}_4^{2-}$  составляет более  $\frac{1}{2}$  от исходного количества в среде.

На этапе ризогенеза уменьшается относительное потребление аммонийного азота, калия и хлора, в то же время увеличивается – магния, кальция, серы и фосфора, по сравнению с этапом микроразмножения.

Ключевые слова: смородина чёрная, минеральное питание, питательная среда, культура in vitro, Беларусь.

### ВВЕДЕНИЕ

В культуре in vitro растения-регенеранты находятся в ограниченном объеме культуральной пробирки в течение всего периода пассажирования и имеют возможность использовать только элементы питания, входящие в состав питательных сред.

Лишь немногие работы рассматривают минеральные компоненты питательных сред, как фактор, позволяющий определить направление морфогенеза в течение культивирования растений-регенерантов in vitro и снизить количество экзогенных биологически активных веществ. Изменение соотношения  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{NH}_4^+$  в питательной среде при культивировании *Nicotiana tabacum* приводит к изменению в морфогенезе. Аммоний, используемый как единственный источник азота, имел отрицательный эффект на рост микрорастений и морфогенез. Когда нитрат использовался как единственный источник азота, отмечено некоторое увеличение частоты инициации и роста апикальных побегов (по сравнению с использованием только аммонийного азота). Использование только

одной формы азота в питательных средах в любом случае приводило к снижению интенсивности вегетативного размножения. Количество доступного азота оказалось менее значимым, чем отношение между  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{NH}_4^+$  [1].

О влияниях абсолютных и относительных количеств  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{NH}_4^+$  на индукцию и дифференциацию клеточных культур растений *in vitro* сообщают и другие авторы [2-7].

Минеральное питание играло существенную роль в образовании адвентивных корней в культуре эвкалипта *Eucalyptus globulus* [8]. Количество укорененных растений зависело от концентрации цинка и нитратного азота в питательной среде и снижалось при дефиците цинка и высоких концентрациях  $\text{NO}_3^-$ . Замена  $\text{NH}_4^+$  умеренной концентрацией  $\text{NO}_3^-$  значительно увеличивала процент укоренения [9].

Увеличение числа корней в ответ на повышение концентрации кальция объясняется способностью кальция стимулировать клеточное деление и улучшать транспорт ауксинов. Ключевая роль кальция в корнеобразовании определяется его использованием в строительстве клеточных стенок и придании им стабильности в процессе активного удлинения клеток [10]. Дефицит цинка приводит к уменьшению укоренения по причине снижения метаболизма ауксина, поскольку цинк требуется в биосинтезе триптофана, предшественника ауксина [11]. Уменьшение железа и магния в фазе индукции ризогенеза определило некоторое увеличение числа корней и их длины, что объясняется ролью данных элементов в биохимических процессах растений [12]. Дефицит бора сдерживал корнеобразование, препятствуя клеточному делению и растяжению и, соответственно, росту корней [13]. В работе Trindade and Pais [14] показано 10%-ное увеличение ризогенеза в случае полного удаления бора из питательной среды.

**Цель исследований** – определение потребления минеральных компонентов питательных сред растениями-регенерантами смородины чёрной для дальнейшей оптимизации условий выращивания микрорастений на этапах микроразмножения и укоренения *in vitro*.

## МЕТОДИКА И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалом для исследования служили растения смородины чёрной (*Ribes nigrum L.*) сортов Память Вавилова и Церера. На этапе микроразмножения использовали питательную среду: макро- и микросоли по Мурасиге и Скуга (MS) с добавлением витаминов В<sub>1</sub>, В<sub>6</sub> и РР по 0,5 мг/л, аскорбиновой кислоты – 1,0 мг/л, глицина – 2 мг/л, мезоинозита – 100 мг/л, сахарозы – 30 г/л и 0,5 мг/л 6-бензиладенина (6-БА), рН – 5,6-5,7. На этапе укоренения использовали питательную среду: ½ макро- и микросоли по MS с добавлением витаминов В<sub>1</sub>, В<sub>6</sub> и РР по 0,5 мг/л, аскорбиновой кислоты – 1,0 мг/л, сахарозы – 20 г/л и 0,5 мг/л индолилмасляной кислоты (ИМК), рН – 5,6-5,7. Длительность субкультивирования на этапе микроразмножения составляла 5 недель, на этапе укоренения – 6 недель. Растения культивировали в пробирках размером 200×22 мм с объемом питательной среды 10 мл.

Условия культивирования растений *in vitro*: освещение (лампы Phillips ЛД-54, 36 W) – 2,5-3 тыс. лк, температура – от 21 до 23 °С и фотопериод – 16/8 ч.

Химический состав питательной среды при культивировании смородины чёрной устанавливали методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой VISTA PRO (Varian, США) и с использованием системы ионной хроматографии ICS-3000 (Dionex, США/Германия) в ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси».

Динамику элементов питания в исследуемых образцах питательной среды оценивали исходя из исходного количества макро- и микросолей, входящих в питательную среду MS (таблица 1).

Таблица 1 – Компоненты питательной среды MS

Макро- и микросоли	Концентрация, мг/л	Анализируемая форма	Концентрация, мг/л
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	1650	$\text{NO}_3^-$	2443,9
$\text{KNO}_3$	1900	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$	118,42
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	440	$\text{SO}_4^{2-}$	167,6
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	370	$\text{Cl}^-$	212,2
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	170	$\text{Na}^+$	4,86
$\text{Na}_2\text{ЭДТА}$	37,3	$\text{NH}_4^+$	371,25
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	27,8	$\text{K}^+$	784,0
$\text{H}_3\text{BO}_3$	6,2	$\text{Mg}^{2+}$	36,48
$\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	22,3	$\text{Ca}^{2+}$	120
$\text{ZnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	8,6	Fe	5,6
KJ	0,83	B	1,1
$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,25	Zn	2,04
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,025		
$\text{CoCl}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,025		

Методика пробоподготовки для определения элементов питания в исследуемых образцах питательной среды:

- 1) каждую пробирку (с пробкой) взвесили и нанесли порядковый номер;
- 2) питательную среду (10 мл) налили в пробирку с помощью дозатора и взвесили пробирку после застывания среды. В процессе розлива среду постоянно размешивали;
- 3) пробирки со средой автоклавировали при 0,9-1,0 атм. в течение 15 мин, после остывания пробирки взвесили;
- 4) часть пробирок использовали для определения минеральных компонентов среды, оставшиеся пробирки – для культивирования *in vitro*, растения высадили на питательную среду на следующий день после автоклавирования;
- 5) через 5-6 недель проводили анализ среды и культивируемого на этой среде растения, предварительно проведя взвешивание пробирок.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Этап микроразмножения

На этапе микроразмножения смородины чёрной в течение одного пассажа (5 недель) установлено, что вес питательной среды в пробирке уменьшился в среднем на 1,3737 г, вес воздушно-сухого растения в среднем составил 0,1305 г (таблица 2).

Таблица 2 – Данные пробоподготовки для определения минеральных компонентов питательной среды на этапе микроразмножения смородины чёрной

№ образца (клон растения)	P <sub>исх.</sub>	P <sub>сух.</sub>	P <sub>раст.</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> -P <sub>3</sub>
Память Вавилова							
125	42,9047	34,4582	0,1536	10,0530	9,6400	8,2929	1,347
169	62,9703	54,2248	0,1264	10,3930	10,0090	8,6191	1,390
173	51,2595	-	0,0920	9,9380	9,6100	-	-
<i>среднее</i>	-	-	<i>0,1240</i>	<i>10,1280</i>	<i>9,7530</i>	<i>8,4560</i>	<i>1,3685</i>
Церера							
104	57,4090	48,472	0,139	10,448	10,161	8,7980	1,363
159	45,7483	37,188	0,156	10,184	9,783	8,4043	1,379
160	47,0150	38,388	0,116	10,370	9,906	8,5110	1,395
<i>среднее</i>	-	-	<i>0,137</i>	<i>10,334</i>	<i>9,950</i>	<i>8,5711</i>	<i>1,379</i>
<i>среднее по сортам</i>			<i>0,1305</i>	<i>10,231</i>	<i>9,8515</i>	<i>8,5135</i>	<i>1,3737</i>
Примечания: P <sub>исх.</sub> – вес исходной пробирки со средой и растением; P <sub>сух.</sub> – вес сухой пробирки после извлечения среды и растения; P <sub>раст.</sub> – вес извлеченного растения (воздушно-сухого, через 20 ч); P <sub>1</sub> – вес среды до автоклавирования; P <sub>2</sub> – вес среды на момент посадки растения; P <sub>3</sub> = P <sub>исх.</sub> - P <sub>сух.</sub> - P <sub>раст.</sub> .							

На этапе микроразмножения смородины чёрной отмечена большая разница в поглощении катионов из питательной среды растениями-регенерантами. Количество потребляемого NH<sub>4</sub><sup>+</sup> растением-регенерантом сортов Церера и Память Вавилова из питательной среды составляет 167,06–270,54 мг/кг, в то время как потребление Ca<sup>2+</sup> – 19,39–26,18 мг/кг соответственно. Потребление K<sup>+</sup> и Mg<sup>2+</sup> составляет 1/3–1/4 часть от исходного количества в питательной среде: 200,70–255,40 мг/л K<sup>+</sup> и 11,53–13,67 мг/кг Mg<sup>2+</sup> у сортов Церера и Память Вавилова соответственно (таблицы 3, 4).

Установлено, что на этапе микроразмножения поглощение анионов NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> у обоих сортов почти в два раза выше, чем анионов Cl<sup>-</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. У сортов Церера и Память Вавилова потребление NO<sub>3</sub><sup>-</sup> составило 1116,20 и 1219,75 мг/кг, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> – 61,76 и 65,77 мг/кг соответственно. Потребление Cl<sup>-</sup> колебалось от 63,45 до 76,71 мг/кг, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – от 58,39 до 65,05 мг/кг в зависимости от сорта (таблицы 3, 4).

Таким образом, на этапе микроразмножения потребление ионов из питательной среды растениями-регенерантами смородины чёрной в порядке уменьшения в среднем по двум сортам составляет 83,64 % (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), 60,38 % (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>), 59,38 % (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), 36,58 % (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), 34,10 % (Cl<sup>-</sup>), 33,83 % (Mg<sup>2+</sup>), 29,46 % (K<sup>+</sup>), 18,35 % (Ca<sup>2+</sup>) (рисунок 1).

Таблица 3 – Потребление ионов (мг/кг) из питательной среды на этапе микроразмножения смородины чёрной сорта Память Вавилова  
Содержание ионов (мг/кг) в питательной среде и потребление ионов растениями

Ион	исходной	после одного пассажа, образец № 125				после одного пассажа, образец № 169				среднее потребление по образцам	
		расчет на P <sub>2</sub>		потребление		расчет на P <sub>2</sub>		потребление		мг/кг	%
		мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%		
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	310,35	44,02	266,33	85,82	35,59	274,76	88,53	270,54	87,17		
K <sup>+</sup>	773,96	506,65	267,31	34,54	530,46	243,50	31,46	255,40	33,00		
Mg <sup>2+</sup>	37,25	24,03	13,22	35,49	23,12	14,13	37,93	13,67	36,71		
Ca <sup>2+</sup>	124,17	101,90	22,27	17,94	94,07	30,10	24,24	26,18	21,09		
Cl <sup>-</sup>	205,46	119,39	86,07	41,89	138,11	67,35	32,78	76,71	37,33		
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	168,73	105,17	63,56	37,67	102,18	66,54	39,44	65,05	38,55		
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1966,72	756,29	1210,43	61,55	737,64	1229,08	62,49	1219,75	62,02		
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	105,61	47,27	58,34	55,24	32,40	73,21	69,32	65,77	62,28		
Примечание – P <sub>2</sub> - вес среды на момент посадки растения.											

Таблица 4 – Потребление ионов (мг/кг) из питательной среды на этапе микроразмножения смородины чёрной сорта Церера  
Содержание ионов (мг/кг) в питательной среде и потребление ионов растениями

Ион	исходной	после одного пассажа, образец № 104				после одного пассажа, образец № 159				после одного пассажа, образец № 160				среднее потребление по образцам	
		расчет на P <sub>2</sub>		потребление		расчет на P <sub>2</sub>		потребление		расчет на P <sub>2</sub>		потребление		мг/кг	%
		мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%		
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	310,35	55,10	255,25	82,25	65,73	244,62	78,82	64,41	245,94	79,25	167,06	80,11			
K <sup>+</sup>	773,96	571,02	202,94	26,22	535,69	238,27	30,79	613,07	160,89	20,79	200,70	25,93			
Mg <sup>2+</sup>	37,25	22,73	14,52	38,98	25,02	12,23	32,83	29,41	7,84	21,05	11,53	30,95			
Ca <sup>2+</sup>	124,17	93,34	30,83	24,83	100,06	24,11	19,42	120,94	3,23	2,60	19,39	15,62			
Cl <sup>-</sup>	205,46	132,71	72,75	35,41	145,90	59,56	28,99	147,43	58,03	28,24	63,45	30,88			
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	168,73	104,35	64,38	38,16	104,12	64,61	38,29	122,55	46,18	27,37	58,39	34,61			
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1966,72	824,59	1142,13	58,07	810,51	1156,21	58,79	916,45	1050,27	53,40	1116,20	56,75			
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	105,61	44,09	61,52	58,25	42,71	62,90	59,56	44,75	60,86	57,63	61,76	58,48			
Примечание – P <sub>2</sub> - вес среды на момент посадки растения.															

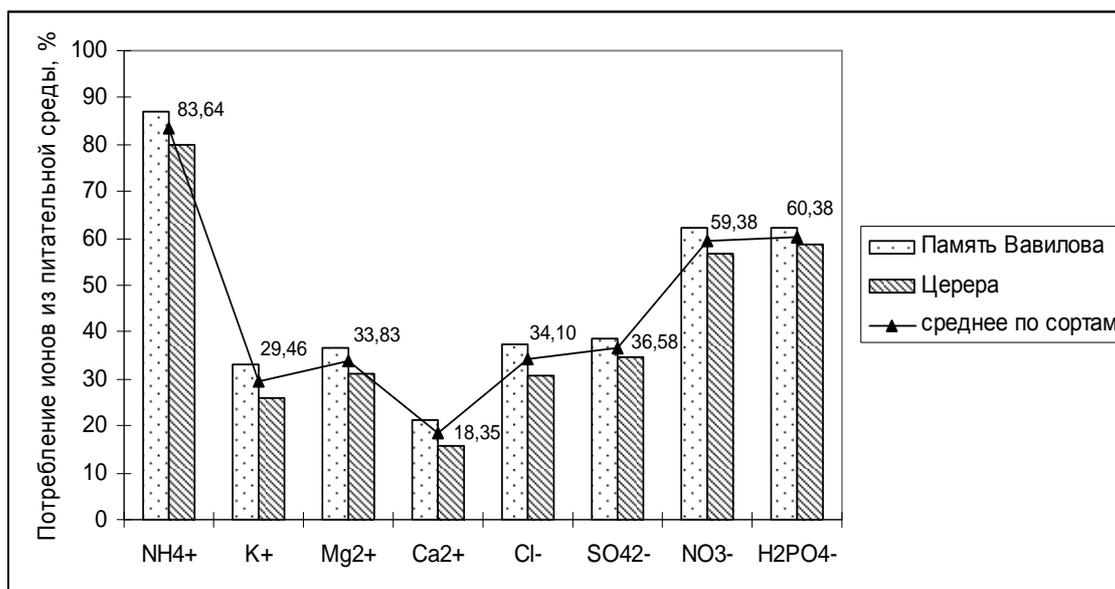


Рисунок 1 – Потребление ионов из питательной среды на этапе микроразмножения смородины чёрной.

### Этап ризогенеза смородины чёрной

На этапе ризогенеза смородины чёрной в течение одного пассажа (6 недель) установлено, что вес питательной среды в пробирке уменьшился в среднем на 1,5042 г, вес воздушно-сухого растения в среднем составил 0,1303 г (таблица 5).

Таблица 5 – Данные пробоподготовки анализируемых элементов питательной среды на этапе укоренения смородины чёрной

№ образца (клон растения)	P <sub>исх.</sub>	P <sub>сух.</sub>	P <sub>раст.</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> -P <sub>3</sub>
<b>Память Вавилова</b>							
251	52,7977	43,8560	0,1690	10,155	10,042	8,7727	1,2693
275	52,6050	43,6838	0,1047	10,336	10,225	8,8165	1,4085
276	54,0882	45,3294	0,1034	10,388	10,164	8,6554	1,5086
<i>среднее</i>			<i>0,1257</i>	<i>10,293</i>	<i>10,144</i>	<i>8,7482</i>	<i>1,3955</i>
<b>Церера</b>							
254	39,686	31,097	0,214	10,249	10,041	8,375	1,666
257	44,539	35,918	0,085	10,117	10,001	8,536	1,465
259	43,770	35,386	0,107	10,128	9,985	8,277	1,708
<i>среднее</i>			<i>0,135</i>	<i>10,165</i>	<i>10,009</i>	<i>8,396</i>	<i>1,613</i>
среднее по сортам			<i>0,1303</i>	<i>10,229</i>	<i>10,0765</i>	<i>8,5721</i>	<i>1,5042</i>
Примечания: P <sub>исх.</sub> – вес исходной пробирки со средой и растением; P <sub>сух.</sub> – вес сухой пробирки после извлечения среды и растения; P <sub>раст.</sub> – вес извлеченного растения (воздушно-сухого, через 20 ч); P <sub>1</sub> – вес среды до автоклавирования; P <sub>2</sub> – вес среды на момент посадки растения; P <sub>3</sub> = P <sub>исх.</sub> - P <sub>сух.</sub> - P <sub>раст.</sub> .							

На этапе ризогенеза смородины чёрной сорта Память Вавилова показано значительное снижение концентрации большинства ионов в питательной среде, исключение составляют ионы  $K^+$  и  $Cl^-$ , концентрация которых изменяется незначительно (таблица 6).

На этапе ризогенеза растений-регенерантов смородины чёрной сорта Церера в максимальном количестве из питательной среды поглощаются ионы  $H_2PO_4^-$  – 47,41 мг/кг (91,72 %),  $NH_4^+$  – 153,27 мг/кг (75,37 %),  $SO_4^{2-}$  – 62,63 мг/кг (68,46 %) и  $NO_3^-$  – 701,24 мг/кг (63,84 %). Поглощение ионов  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$  колеблется от 30,03 до 45,14 % (таблица 7).

Таким образом, на этапе укоренения растения-регенеранты смородины чёрной обоих сортов максимально поглощают из питательной среды  $H_2PO_4^-$  – в среднем 88,50 % от исходного количества в среде. Хорошо усваивается азот, как в нитратной (до 64,37 %), так и в аммонийной форме (до 76,88 %). Также поглощение иона  $SO_4^{2-}$  составляет более ½ от исходного количества в среде (рисунок 2).

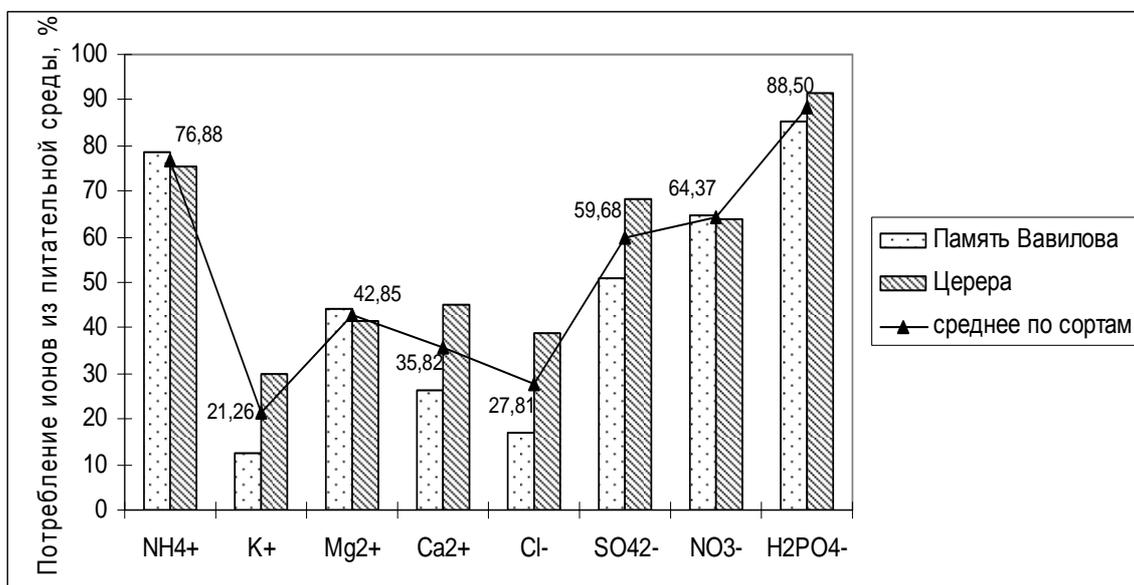


Рисунок 2 – Потребление ионов из питательной среды на этапе укоренения смородины чёрной.

Сравнительный анализ использования элементов питания из питательной среды на этапах микроразмножения и ризогенеза приведен на рисунке 3.

Таблица 6 – Потребление ионов (мг/кг) из питательной среды на этапе укоренения смородины чёрной сорта Память Вавилова

Ион	Содержание ионов (мг/кг) в питательной среде											
	образец № 251				образец № 275				образец № 276			
	исходной	расчет на P <sub>2</sub> , мг/кг		потребление		расчет на P <sub>2</sub> , мг/кг	потребление		расчет на P <sub>2</sub> , мг/кг	потребление		среднее потребление по образцам
мг/кг		%	мг/кг	%	мг/кг		%	мг/кг		%		
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	203,35	45,22	158,13	77,76	63,97	139,38	68,54	22,65	108,7	88,86	135,40	78,39
K <sup>+</sup>	407,68	299,19	108,49	26,61	388,13	19,55	4,79	382,77	24,91	6,11	50,98	12,50
Mg <sup>2+</sup>	20,54	8,22	12,32	59,98	16,19	4,35	21,18	10,08	10,46	50,92	9,04	44,03
Ca <sup>2+</sup>	79,47	46,67	32,80	41,27	74,64	4,83	6,08	53,92	25,55	32,15	21,06	26,50
Cl <sup>-</sup>	113,07	80,60	32,47	28,72	107,17	5,9	5,22	130,92	+17,85	+15,79	19,18	16,97
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	91,49	39,56	51,93	56,76	54,34	37,15	40,60	40,85	50,64	55,35	52,30	50,90
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1098,39	363,94	734,45	66,87	468,53	629,86	57,34	323,92	774,47	70,51	712,93	64,91
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	51,69	4,07	47,62	92,13	10,82	40,87	79,07	7,93	43,76	84,66	44,08	85,29

Таблица 7 – Потребление ионов (мг/кг) из питательной среды на этапе укоренения смородины чёрной сорта Церера

Ион	Содержание ионов (мг/кг) в питательной среде											
	образец № 254				образец № 257				образец № 259			
	исходной	расчет на P <sub>2</sub> , мг/кг		потребление		расчет на P <sub>2</sub> , мг/кг	потребление		расчет на P <sub>2</sub> , мг/кг	потребление		среднее потребление по образцам
мг/кг		%	мг/кг	%	мг/кг		%	мг/кг		%		
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	203,35	15,42	187,93	92,42	83,84	119,51	58,77	50,97	152,38	74,93	153,27	75,37
K <sup>+</sup>	407,68	257,94	149,74	36,73	320,12	87,56	21,48	277,65	130,03	31,89	93,26	30,03
Mg <sup>2+</sup>	20,54	10,87	9,67	47,08	14,03	6,51	31,69	11,04	9,5	46,25	8,56	41,67
Ca <sup>2+</sup>	79,47	39,46	40,01	50,35	49,08	30,39	38,24	42,26	37,21	46,82	35,87	45,14
Cl <sup>-</sup>	113,07	61,39	51,68	45,71	75,60	37,47	33,14	71,10	41,97	37,12	43,71	38,66
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	91,49	21,84	69,65	76,13	37,48	54,01	59,03	27,25	64,24	70,21	62,63	68,46
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1098,39	218,84	879,55	80,08	557,08	541,31	49,28	415,53	682,86	62,17	701,24	63,84
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	51,69	7,30	44,39	85,88	3,41	48,28	93,40	2,13	49,56	95,88	47,41	91,72

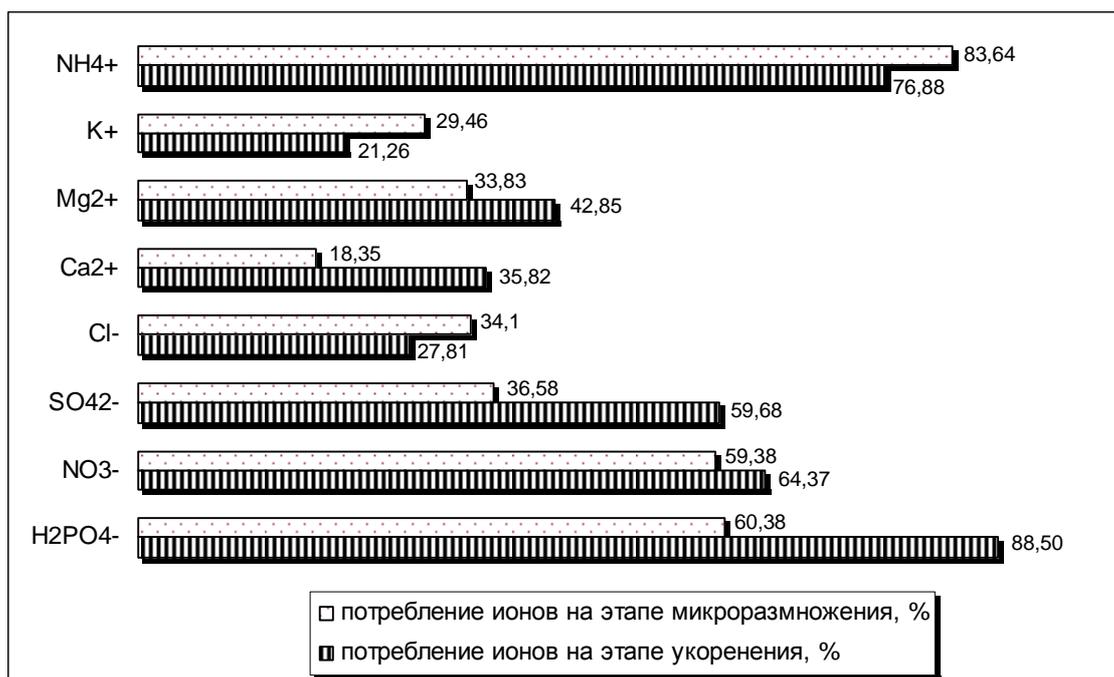


Рисунок 3 – Потребление ионов из питательной среды на этапе микроразмножения и укоренения смородины чёрной.

На этапе ризогенеза уменьшается относительное потребление аммонийного азота, калия и хлора, в то же время увеличивается – магния, кальция, серы и фосфора. Практически не изменяется потребление нитратного азота на различных этапах органогенеза.

## ВЫВОДЫ

Культивирование смородины чёрной на питательной среде для микроразмножения в течение 5 недель привело к существенному снижению концентрации большинства ионов в питательной среде. Максимальное уменьшение отмечено для NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (80,11–87,17 %), на 1/3 часть уменьшается количество K<sup>+</sup> и Mg<sup>2+</sup>. Несколько меньше потребляется микро-растениями Ca<sup>2+</sup> (15,62 %–21,09 %). Отмечена разница и в поглощении анионов из питательной среды растениями-регенерантами смородины чёрной. Максимально использовались ионы H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> (58,48–62,28 %) и NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (56,75 %–62,02 %) и на 1/3 ионы Cl<sup>-</sup> и SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

На этапе укоренения растения-регенеранты смородины чёрной обоих сортов максимально поглощают из питательной среды H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> – в среднем 88,5 % от исходного количества в среде. Хорошо усваивается азот, как в нитратной (до 64,37 %), так и в аммонийной форме (до 76,88 %). Также поглощение иона SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> составляет более 1/2 от исходного количества в среде.

На этапе ризогенеза по сравнению с этапом микроразмножения уменьшается относительное потребление аммонийного азота, калия и хлора, в то же время увеличивается – магния, кальция, серы и фосфора.

Литература

1. Mineral Nutrition and Plant Morphogenesis / C.M. Ramage [et al.] // In Vitro Cellular & Developmental Biology Plant. – 2002. – Vol. 38, № 2. – P. 116–124.
2. The inorganic: ratio influences plant regeneration and auxin sensitivity in primary callus derived from immature embryos of indica rice (*Oryza sativa L.*) / H.D. Grimes [et al.] // Journal of Plant Physiology. – 1990. – Vol. 136. – P. 362–367.
3. Influence of ionic composition of the culture medium on de novo flower formation in tobacco thin cell layers / A. Cousson [et al.] // Canadian Journal of Botany. – 1993. – Vol. 71. – P. 506–511.
4. Rapid effects of nitrogen form on leaf morphogenesis / L.P. Walch [et al.] // Journal of Experimental Botany. – 2000. – Vol. 51. – P. 227–237.
5. Nitrogen metabolism in cultured cotyledons of *Pinus radiata* during de novo organogenesis / R.W. Joy [et al.] // Physiologia Plantarum. – 1994. – Vol. 92. – P. 681–688.
6. Nitrogen source regulation of growth and photosynthesis in *Beta vulgaris L* / T.K. Raab [et al.] // Plant Physiology. – 1994. – Vol. 105. – P. 1159–1166.
7. Carbon, nitrogen and nutrient interactions in *Beta vulgaris L.* as influenced by nitrogen source, versus / T.K. Raab [et al.] // Plant Physiology. – 1995. – Vol. 107. – P. 575–584.
8. Mineral nutrition and adventitious rooting in microcuttings of *Eucalyptus globules* / J. Schwambach [et al.] // Tree Physiology. – 2005. – Vol. 25. – P. 487–494.
9. Effect of pH and 1H-indole-3-butyric acid (IBA) on rooting of apple microcuttings / J.F. Harbage [et al.] // J. Am. Soc. Hortic. Sci. – 1996. – Vol. 121. – P. 1049–1053.
10. Confirmation of the role of auxin and calcium in the late phases of adventitious root formation / J. Bellamine [et al.] // Plant Growth Regul. – 1998. – Vol. 26. – P. 191–194.
11. Effect of zinc supply on growth of three species of *Eucalyptus* seedlings and wheat / B. Dell [et al.] // Plant Soil. – 1985. – Vol. 88. – P. 377–384.
12. Enhanced peroxidase activity in rice leaves in response to excess iron, copper and zinc / W.C. Fang [et al.] // Plant Sci. – 2000. – Vol. 158. – P. 71–76.
13. Root growth inhibition in boron-deficient or aluminum-stressed squash may be a result of impaired ascorbate metabolism / K.M. Lukaszewski [et al.] // Plant Physiol. – 1996. – Vol. 112. – P. 1135–1140.
14. Trindade, H. In vitro studies on *Eucalyptus globulus* rooting ability / H. Trindade, M.S. Pais // In Vitro Cell Devel. Biol. Plant. – 1997. – Vol. 33. – P. 1–5.

**CONSUMPTION STRUCTURE OF MINERAL COMPONENTS  
OF NUTRIENT SOLUTION BY BLACK CURRANT REGENERANT PLANTS  
UNDER IN VITRO CULTIVATING**

N.V. Kukharchik, E.V. Kolbanova, L.Yu. Tychinskaya, G.D. Poleshko

**ABSTRACT**

Consumption of mineral components of nutrient solutions by black currant regenerant plants in in-vitro culture was established. At a microreproduction stage essential decrease in concentration of the majority of ions in nutrient solution was noted: maximum for  $\text{NH}_4^+$  (80.11-87.17 % from initial quantity in the solution), quantity  $\text{K}^+$  and  $\text{Mg}^{2+}$  decreases by  $\frac{1}{3}$  part. A little bit less is consumed by microplants  $\text{Ca}^{2+}$  (15.62 %-21.09 %). The difference in anion absorption from a nutrient solution is also noted. Ions  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (58.48-62.28 %) and  $\text{NO}_3^-$  (56.75 %-62.2 %) and by  $\frac{1}{3}$   $\text{Cl}^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  ones were used to the maximum extent possible.

Black currant regenerant plants maximum absorb  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  (on the average 88.5 %) from a nutrient solution at the rooting stage. Nitrogen takes up well both in nitrate (up to 64,37 %) and ammonium (up to 76,88 %) forms. Ion  $\text{SO}_4^{2-}$  absorption makes more than 1/2 from initial quantity in the solution.

At a rhizogenes stage relative consumption of ammonium nitrogen, potassium and chlorine decreases. At the same time magnesium, calcium, sulphur and phosphorus consumption increases in comparison with a microreproduction stage.

Key words: black currant, mineral nutrition, nutrient solution, in vitro culture, Belarus.

*Дата поступления статьи в редакцию 14.03.2012*