

УДК 633.49:581.13

## **ОСОБЕННОСТИ ПОТРЕБЛЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ ИНФИЦИРОВАННЫМИ И ОЗДОРОВЛЕННЫМИ ОТ ВИРУСОВ РАСТЕНИЯМИ КАРТОФЕЛЯ ПРИ РАЗНОМ УРОВНЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ**

**Н. Л. РАШКОВИЧ, Ю. Ц. МАРТИРОСЯН, О. С. МЕЛИК-САРКИСОВ,  
В. А. СТОРОЖЕНКО, М. А. ЧЕРНОБРОВКИНА**

(Кафедра сельского хоз-ва зарубежных стран)

В вегетационном опыте установлены значительные различия между безвирусными и зараженными одновременно X, Y и S-вирусами растениями картофеля, выращиваемого при разном уровне минерального питания, по потреблению N, P и K удобрений. Сделан вывод о необходимости корректирования существующих норм удобрений при возделывании безвирусного картофеля для обеспечения оптимального уровня минерального питания.

Достижения биотехнологии определили развитие новой отрасли — безвирусного растениеводства. Благодаря современным методам промышленного производства безвирусного посадочного материала картофеля [6] стал возможен повсеместный переход картофелеводства на безвирусную основу.

Известно, что вирусная инфекция оказывает большое влияние на физиологические параметры картофеля, обуславливая тем самым значительные физиологические различия между инфицированными и безвирусными растениями [3]. Между тем вопросы минерального питания безвирусного картофеля до настоящего времени изучены недостаточно [1, 2, 8], в этой связи полученные результаты не могут служить основой для рекомендаций оптимальных норм внесения удобрений при возделывании безвирусного картофеля.

Ранее проведенные нами эксперименты [5] показали, что свободные от вирусов растения кар-

тофеля существенно отличаются от инфицированных по потреблению основных элементов минерального питания. Это свидетельствует о необходимости разработки специальной системы удобрений при возделывании безвирусного картофеля. Данная проблема приобрела особую актуальность в последнее время, при переходе на интенсивные технологии.

Настоящая работа проводилась в этом же направлении и имела целью изучить потребление основных минеральных веществ инфицированным и свободным от вирусной инфекции картофелем при разной концентрации питательного раствора.

### **Методика**

Вегетационный опыт с безвирусными и инфицированными растениями картофеля сорта Невский был поставлен в январе — апреле 1992 г. в условиях фитотрона лаборатории безвирусных культур НИИСБ РАСХН.

Безвирусный картофель получен методом культуры апикальной меристемы. В опыте использовали 2-ю клубневую репродукцию, для сравнительного изучения была взята 3-я после оздоровления и искусственного инфицирования X, Y и S-вирусами клубневая репродукция.

Трижды в период вегетации определяли наличие в растениях X, Y, S, M, F-вирусов и вируса скручивания листьев методом иммуноферментного анализа (ELISA). На основании результатов тестирования оставляли только те растения, в листьях которых указанные вирусы отсутствовали (безвирусные растения), и растения, у которых одновременно были обнаружены X, Y и S-вирусы (контроль).

Растения выращивали в 5-литровых вегетационных сосудах с перлитом. Питательные вещества в перлит вносили в виде раствора Кноппа, состав которого приведен в табл. 1. В опыте использовали питательный раствор 0,5; 1; 2 и 4-кратной концентрации. Повторность опыта 6-кратная. При наступлении основных фенологических фаз (6-го листа, бутонизации, цветения, увядания) растения извлекали из субстрата, разделяли на отдельные органы и высушивали до постоянной

массы при температуре 100 °С. В измельченной воздушно-сухой навеске после озоления в H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> по общепринятым методикам определяли содержание азота, фосфора и калия с относительной точностью не ниже 0,5 %.

### Закономерности роста растений

Безвирусные растения росли более интенсивно и накапливали большую биомассу при всех концентрациях питательного раствора. Фенологические фазы у них наступали на 7—10 дней раньше, чем у инфицированных. На рис. 1 приведены данные о накоплении сухого вещества целыми растениями в разные фазы развития. Для построения кривых роста мы использовали уравнение логистической кривой Ферхюльста [4], приведенное для удобства расчетов к экспоненциальной форме

$$M(t) = \frac{Mk}{1 + e^{at+b}}, \quad (1)$$

где  $M$  — сухая биомасса растения в возрасте  $t$ ;  $Mk$  — максимальная сухая биомасса растения;  $a$  и  $b$  — параметры уравнения.

Параметр  $Mk$  представлял собой сухую биомассу растений в фазе увядания. Аппроксимацию проводили по двум коэффициентам ( $a$  и  $b$ ) методом наименьших квадратов. Как видно на рис. 1, полученные кривые достаточно хорошо отражают экспериментальные данные (наибольшая абсолютная ошибка аппроксимации составляла менее 0,74 г), что лишний раз подтверждает достоверность логистической закономерности.

Максимальная биомасса как у безвирусных, так и у инфицированных растений накапливалась при нормальной (1) концентрации питательных веществ в растворе. Меньшая продуктивность растений при концентрации раствора 0,5,

Таблица 1

Состав питательной смеси			
Вещество	Концентрация, мг/л	Вещество	Концентрация, мг/л
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·4H <sub>2</sub> O	1440	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	3,1
KNO <sub>3</sub>	250	MnSO <sub>4</sub>	2,2
KCl	120	ZnSO <sub>4</sub>	0,22
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	250	CuSO <sub>4</sub>	0,22
MgSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	510		
Fe(COO) <sub>3</sub> C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> OH	40		
Всего: N — 205, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> — 130, K <sub>2</sub> O — 280			

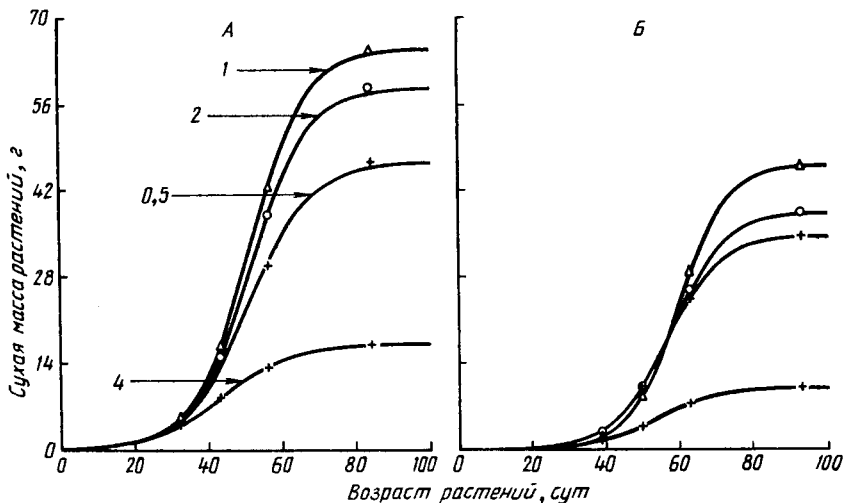


Рис. 1. Накопление сухого вещества одним растением (А — безвирусным, Б — инфицированным) в зависимости от возраста.

по-видимому, обусловлена недостатком питательных веществ. При концентрациях раствора 2 и 4 причиной снижения продуктивности являлся токсический эффект, связанный с избыточным содержанием питательных веществ. Разумеется, что хотя нормальная концентрация раствора и была наиболее благоприятной, нет оснований считать ее оптимальной, поскольку градация уровней питательного фона, принятая в опыте, слишком широкая.

Отношение массы безвирусных растений к массе инфицированных закономерно изменялось от 1,35 (при концентрации раствора 0,5) до 1,7 (при 4-кратной концентрации). Увеличение этого отношения, которое достигает максимума в токсическом диапазоне, при повышении концентрации питательного раствора дает основание судить о более высокой толерантности здоровых растений по отношению к неблагоприятным условиям питания.

При всех концентрациях питательного раствора относительная продуктивность безвирусных растений была намного больше, чем у инфицированных. Недостаток питательных веществ не оказывал существенного влияния на этот показатель, в то время как при избытке он резко снижался (табл. 2).

Таблица 2  
Доля клубней в сухой биомассе растений в фазу увядания (%)

Концентрация питательного раствора (по отношению к нормальной концентрации)	Растения	
	безвирусные	инфицированные
0,5	28,6	21,6
1	27,2	21,8
2	21,4	17,9
4	8,2	3,5

## Накопление биомассы в зависимости от уровня минерального питания

Если представить себе растение, помещенное в сосуд, где концентрация элементов питания постепенно возрастает (но достаточно медленно, что обеспечивает возможность использования преимущества каждого уровня концентрации), то можно предположить логистический характер зависимости между биомассой растений и концентрацией питательных веществ в растворе:

$$m(c) = \frac{mk}{1+e^{h+fc}}, \quad (2)$$

где  $m(c)$  — биомасса растения при концентрации питательного раствора  $c$ ;  $mk$  — максимальная биомасса растения;  $h$  и  $f$  — параметры уравнения.

Продифференцировав (2) по аргументу  $c$ , получим выражение для коэффициента, характеризующего темп прироста биомассы по мере увеличения концентрации элементов питания:

$$\frac{dm(c)}{dc} = mkf \frac{e^{h+fc}}{(1+e^{h+fc})^2}. \quad (3)$$

Поскольку в нашем опыте растения росли при постоянной концентрации питательных веществ в растворе, то отношение дифференциалов можно приравнять к отношению физических значений:

$$\frac{Mk}{c} = \frac{dm(c)}{dc}, \quad (4)$$

откуда

$$Mk = c \frac{dm(c)}{dc}. \quad (5)$$

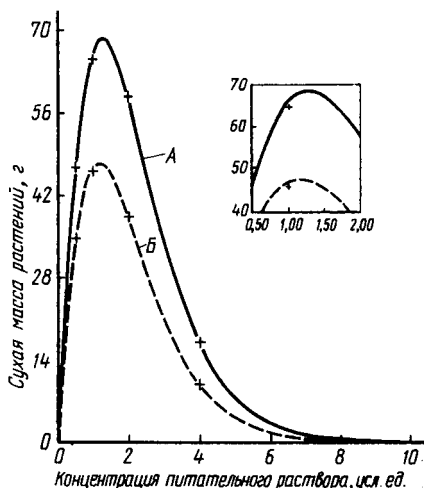
Таким образом, уравнение зависимости между сухой биомассой

растений и концентрацией элементов питания в растворе предположительно имеет вид

$$Mk = c^{mkf} \frac{e^{h+fc}}{(1+e^{h+fc})^2}. \quad (6)$$

Данное выражение мы использовали для аппроксимации экспериментальных данных методом наименьших квадратов по 3 коэффициентам ( $mk$ ,  $h$  и  $f$ ) и получили удовлетворительные результаты. На рис. 2 представлены экспериментальные данные и расчетные кривые. Максимальная абсолютная ошибка аппроксимации составила 1,6 г. Эти графики позволяют определить наиболее благоприятную для роста растений концентрацию элементов питания в растворе и прогнозировать потенциальный урожай.

Рис. 2. Накопление сухого вещества одним растением в зависимости от концентрации питательного раствора. Обозначения те же, что на рис. 1.



Для безвирусных растений оптимальной оказалась концентрация элементов питания 1,27, а максимальная расчетная сухая биомасса составила 68,7, для инфицированных — соответственно 1,17 и 47,6 г. Максимально возможное накопление сухой биомассы свободными от вирусов растениями при оптимальных условиях питания в 1,44 раза выше, чем у больных растений.

Если на основании данных табл. 2 допустить, что доля клубней в сухой массе безвирусных растений при оптимальных условиях минерального питания составляет 27 %, у инфицированных — 21,5 %, то потенциальный урожай клубней здоровых растений (в расчете на сухую массу) будет равен 18,5 г, или на 81 % больше, чем урожай клубней больных растений (10,2 г). Для более интенсивного роста безвирусным растениям необходим более высокий уровень минерального питания, чем инфицированным. Здоровые растения более пластичны и толерантны в отношении условий минерального питания, т. е. могут продуцировать достаточно большое количество биомассы в более широком интервале концентрации питательного раствора, чем инфицированные растения. В то же время они более чувствительны к концентрации питательного раствора, так как сильнее реагируют на ее изменение.

#### Содержание минеральных веществ в растениях в зависимости от уровня питания

Начальным этапом поглощения элементов минерального питания является их обменная адсорбция на пористых поверхностях целлюлозных оболочек наружных клеток корня. На основании этого мы предположили, что зависимость между удельным содержанием ми-

неральных веществ в сухой биомассе растения и их концентрацией в питательном растворе может быть ориентировочно количественно описана исходя из представлений об адсорбции. Для этой цели мы использовали уравнение изотермы адсорбции Ленгмюра [7]. В наших обозначениях оно принимает вид

$$Ck(c) = k \frac{c}{p+c}, \quad (7)$$

где  $Ck(c)$  — удельное содержание питательного вещества в сухой биомассе растения на питательной среде концентрации  $c$  в конце вегетации;  $k$  и  $p$  — параметры уравнения. После линеаризации этого выражения коэффициенты  $k$  и  $p$  были вычислены методом наименьших квадратов. Ошибка аппроксимации по содержанию азота и калия не превышала 0,01 %, а по содержанию фосфора — 0,02 %.

Анализ расчетных кривых и экспериментальных данных, приведенных на рис. 3, позволил определить предполагаемое удельное содержание основных минеральных элементов в сухой биомассе растений при оптимальном уровне питания и рассчитать кривые их выноса.

Характер кривых, представленных на рис. 3, показывает, что не только в любом возрасте [5], но и при любом уровне питания удельное содержание основных минеральных элементов в сухой биомассе безвирусных растений заметно ниже, чем у инфицированных. Это свидетельствует о более эффективном использовании минеральных элементов здоровыми растениями для формирования биомассы.

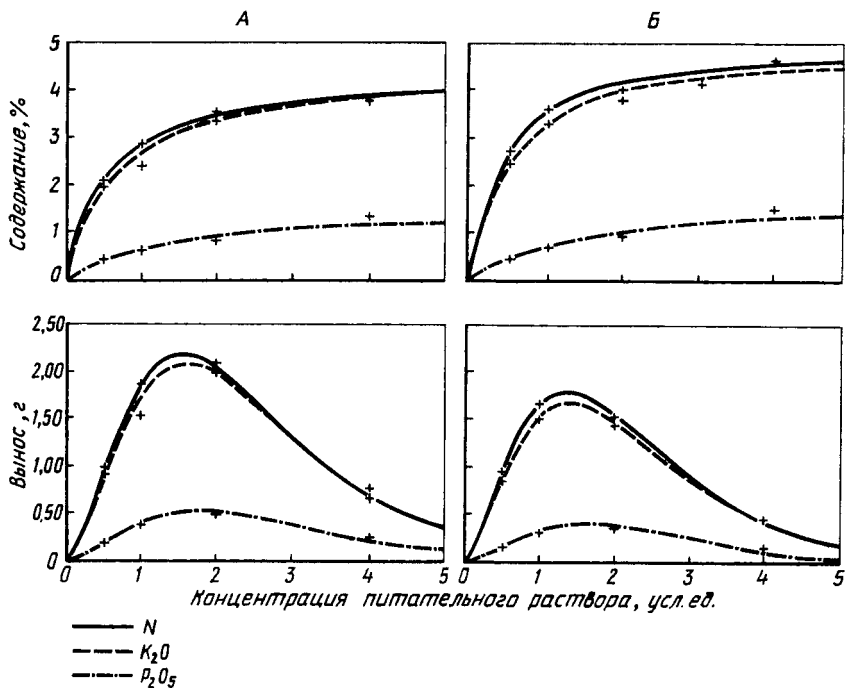


Рис. 3. Содержание минеральных веществ в сухой массе растения и их вынос в зависимости от концентрации питательного раствора. Обозначения те же, что на рис. 1.

### Вынос минеральных веществ в зависимости от уровня питания

Выражение для определения выноса легко получить, перемножив уравнения зависимости накопления сухой биомассы и содержания питательных веществ в ней от концентрации питательной среды:

$$V(c) = Mk(c) \cdot Ck(c), \quad (8)$$

где  $V(c)$  — вынос минеральных веществ при концентрации питательного раствора  $c$ .

Концентрация раствора, при которой наблюдается максимальный вынос элементов питания, не совпадает с оптимальной для роста (рис. 2), на графике она смещена вправо. Из этого следует, что

превышение уровня питания выше оптимального приводит к снижению эффективности использования минеральных веществ при формировании биомассы.

При всех концентрациях питательного раствора безвирусные растения отличались большим выносом минеральных элементов, нежели инфицированные. Удельный вынос элементов питания, напротив, у последних был существенно выше. Даже при оптимальной концентрации питательного раствора инфицированные растения расходовали на формирование единицы массы клубней в 1,5—1,6 раза больше питательных веществ, чем здоровые растения (N — соответственно 112 и 175 мг/г, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> —

25 и 39,  $K_2O$  — 106 и 165 мг/г).

Соотношение  $N:P_2O_5:K_2O$  при выносе питательных веществ из субстрата у инфицированных растений было несколько шире, чем у здоровых, и значительно сужалось по мере увеличения концентрации питательного раствора. Однако при оптимальных концентрациях питательного раствора этот показатель оказался одинаковым у инфицированных и безвирусных растений (4,5:1:4,2).

### Выводы

1. Безвирусные растения отличаются от инфицированных более интенсивным темпом роста и развития, а также большей относительной и абсолютной продуктивностью.

2. Здоровые растения при формировании биомассы более эффективно используют минеральные вещества, нежели инфицированные растения, поскольку их вынос из субстрата на единицу сухой массы у первых меньше.

3. Безвирусные растения по сравнению с инфицированными более чувствительны к условиям минерального питания и более отзывчивы на повышение концентрации питательного раствора. В то же время они более толерантны к условиям минерального питания, так как урожаи могут быть достаточно высокими при более широком интервале концентрации питательного раствора.

4. Для наилучшего роста безвирусных растений требуется более высокая концентрация питательного раствора, нежели для роста инфицированных растений.

5. Независимо от условий минерального питания здоровые растения выносят несколько больше питательных веществ, чем инфицированные, но удельный вынос в расчете на единицу массы клубней у них существенно ниже.

6. Соотношение  $N:P_2O_5:K_2O$  у инфицированных растений шире, чем у безвирусных, при всех концентрациях питательного раствора. Однако при оптимальных для больных и здоровых растений уровнях питания оно оказалось одинаковым.

Таким образом, безвирусные растения имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с инфицированными, но для максимальной реализации их потенциальных возможностей необходимо создавать уровень питания, который был бы выше принятого в настоящее время для инфицированного картофеля.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Амбросов А. Л., Шуцкая О. В., Бардышев М. А. и др. Влияние вирусной инфекции на минеральный обмен у растений картофеля.— Вестн АН БССР. Сер. бiял. навук, 1976, № 3, с. 51—55.— 2. Бацанов Н. С., Коршунов А. В., Морозов В. С., Попов В. И. К вопросу о минеральном питании оздоровленного от вирусной инфекции картофеля.— Докл. ТСХА, 1972, вып. 187, с. 103—107.— 3. Генкель П. А., Космакова В. Е., Рейфман В. Г. Физиологические особенности картофеля, пораженного вирусными болезнями.— Вирусные болезни картофеля. М.: Колос, с. 53—58.— 4. Лакин Г. Ф. Биометрия.— М.: Высшая школа, 1990.— 5. Мартироян Ю. Ц., Рашкович Н. Л., Мелик-Саркисов О. С., Стороженко В. А., Чернобровкина М. А. Потребление питательных веществ инфицированными и свободными от вирусной инфекции растениями картофеля.— Изв. ТСХА, 1993, вып. 2, с. 208—213.— 6. Мелик-Саркисов О. С., Цолин Л. Н., Овчинникова В. Н. и др. Технология культивирования и размножения регенерантов картофеля.— Методические рекомендации. М.: ВАСХНИЛ, 1990.— 7. Тейлор Х. С. Физическая химия. Л.: ОНТИ, 1935.— 8. Тер-Сааков А. А., Грачева Н. К., Шмыгла В. А., Лодочкин П. И. Влияние вирусных инфекций на содержание минеральных элементов в листьях картофеля.— Изв. ТСХА, 1986, вып. 3, с. 186—187.

Статья поступила 25 декабря 1992 г.

## **SUMMARY**

In greenhouse experiment considerable difference in consumption of N, P and K fertilizers has been found between virus-free potato plants and those infected with X, Y and S-viruses grown under different level of mineral nutrition.