

УДК 631.811.98:633.63

## **ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ И БЕТАСТИМУЛИНА НА СИНТЕЗ И НАКОПЛЕНИЕ САХАРОЗЫ В САХАРНОЙ СВЕКЛЕ (*BETA VULGARIS L.*)**

© 2008 г. **В. Д. Сакало<sup>1</sup>, И. У. Марчук<sup>2</sup>,  
В. М. Курчий<sup>1</sup>, В. М. Козак<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук Украины  
(Киев, Украина)*

<sup>2</sup>*Национальный аграрный университет  
(Киев, Украина)*

В полевых условиях изучали влияние высокой дозы НРК и внекорневой подкормки комплексным удобрением Акварином №5, а также обработки посевов бетастимулином на биосинтетические процессы и продуктивность сахарной свеклы гибрида Украинский МС-70. Установлено, что при выращивании свеклы с использованием высокой дозы минерального питания повышалась активность сахарозофосфатсинтазы в листьях, интенсивность оттока, активировалась сахарозосинтаза в реакции расщепления сахарозы в корнеплодах. Урожайность корнеплодов сахарной свеклы в этих условиях увеличивалась в 2-2,5 раза, тогда как сахаристость уменьшалась на 0,7-1,0 %. Обработка посевов бетастимулином активировала биосинтетические процессы в листьях, но снижала активность сахарозосинтазы в корнеплодах. Как результат происходило увеличение сахаристости при высокой урожайности.

**Ключевые слова:** *Beta vulgaris L., минеральное питание, бетастимулин, сахароза, сахарозофосфатсинтаза, сахарозосинтаза, продуктивность*

Уровень минерального питания оказывает существенное влияние на рост, метаболизм и сахаронакопление у сахарной свеклы. Известно, что в корнеплодах макро- и микроэлементы влияют на активность и направленность действия фермента сахарозосинтазы (СС, К.Ф. 2.4.1.13), который, благодаря своей способности к расщеплению и синтезу сахарозы, определяет ее распределение на ростовые процессы и запасание. Увеличение массы корнеплодов в 2-2,5 раза, происходящее при внесении в почву высоких доз азота, связывают с активацией СС в реакции расщепления сахарозы [3]. Показано, что в сахарной свекле, выращиваемой в условиях дефицита азота (N – 0,3), фосфора (P – 0,1) и калия (K – 0,1) в питательной смеси ВНИС, активность фермента существенно снижалась. Причем, недостаток азота и фосфора в большей степени снижал активность СС

в реакции расщепления сахарозы, а калия – в реакции синтеза. Увеличение дозы азота в два раза, а также повышение фона питания до двух доз питательной смеси ВНИС активировало СС в реакции расщепления сахарозы, что сопровождалось значительным увеличением урожая корнеплодов и снижением их сахаристости [2].

Считают, что двухвалентные катионы (Ca, Mg, Mn), которые активируют синтетическую направленность СС и ингибируют расщепление сахарозы, могут быть фактором повышения сахаристости. При внесении Mn в сочетании с основными элементами питания продуктивность повышается в основном за счет возрастания на 0,9 – 1 % сахаристости [4]. Эти результаты свидетельствуют о том, что в процессах сахаронакопления важная регулирующая роль принадлежит тканям корнеплода и их ключевому ферменту – СС. Но активность СС, в свою очередь, в значительной степени регулируется поступающей из листьев в корнеплод сахарозой [6]. Поэтому, немаловажным является изучение регуляции фермента синтеза саха-

---

*Адрес для корреспонденции:* Сакало Валентина Дмитриевна, Институт физиологии растений и генетики НАНУ, ул. Васильковская, 31/17, Киев, 03022, Украина;  
e-mail: [kurchii@ifrg.kiev.ua](mailto:kurchii@ifrg.kiev.ua)

## ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

розы в листьях – сахарозофосфатсинтазы (СФС, К.Ф. 2.4.1.14). И хотя известно, что СФС является регуляторным ферментом, осуществляющим контроль синтеза сахарозы в листьях, ее экзогенная регуляция и, в частности, влияние минеральной подкормки на активность, мало изучена. Но в регуляции активности СФС в листьях важную роль играют как элементы питания, так и микроэлементы типа двухвалентных катионов, которые при опрыскивании ими посевов быстро включаются в метаболизм листа, активируют ферменты, часто являясь их кофакторами. Это позволяет растениям более полно реализовать свой генетический потенциал. Известно, что моновалентные катионы не влияют на активность СФС, а двухвалентные (Mg, Mn) стимулируют ее, причем Mg может действовать на структуру фермента – в его отсутствие образуются олигомеры с высокой молекулярной массой и низкой активностью [11]. В то же время, некоторые анионы (цитрат, фосфат) ингибируют фермент при использовании их в качестве подкормки сахарной свеклы [13]. Важно учитывать, что двухвалентные катионы активируют как синтетическую направленность СС, так и СФС. Усиление действия макро- и микроэлементов на активность ферментов СС и СФС может происходить при их сочетании с экзогенными регуляторами роста, способными активировать СФС [9].

Цель работы – изучить влияние высокой дозы NPK и внекорневой подкормки Акварином №5 - водорастворимым комплексным минеральным удобрением, а также действие бетастимулина на активность ферментов синтеза и метаболизма сахарозы, содержание фотосинтетических пигментов, ростовые процессы и продуктивность сахарной свеклы.

### МЕТОДИКА

Сахарную свеклу (*Beta vulgaris* L.) гибрид Украинский МС-70 выращивали в условиях мелкоделяночного полевого опыта в 2006-2007 гг. на лугово-черноземной карбонатной легкосуглинистой почве Киевской области Васильковского района (Агростанция НАУ). Почвы характеризуются средней обеспеченностью азотом (48 мг/кг), фосфором (29 мг/кг) и низкой калием (79 мг/кг). Эти посевы были контролем. В опытных делянках на фоне последействия 30 т/га навоза вносили минеральные удобрения в дозе N<sub>140</sub>P<sub>180</sub>K<sub>170</sub>, а в период вегетации в фазе 6-8 листьев посевы обрабатывали 1,5 % раствором акварина, а также им в сочетании с регуля-

тором роста бетастимулином (рабочий раствор - 150 мкл бетастимулина в 1,5 л 1,5 % раствора акварина). Площадь опытных делянок 50 м<sup>2</sup>, повторность 3-х кратная.

Акварин № 5 (лицензия серия АВ № 047770 Россия) – комплексное водорастворимое минеральное удобрение; концентрация макро- и микроэлементов (в процентах): NPK (все по 18), MgO (2), S (1,5), Mn (0,042), B (0,02), Zn (0,014), Cu (0,01), Mo (0,04), Fe (0,054).

Бетастимулин – композиция природного регуляторов роста и синтетических аналогов фитогормонов, создан в Институте биоорганической химии и нефтехимии НАН Украины, применяется для повышения продуктивности сахарной свеклы.

В онтогенезе проводили определение активности ферментов СФС, СС, содержания сахарозы и фотосинтетических пигментов, роста ботвы и корнеплодов. В конце вегетации определяли урожайность и сахаристость. СФС выделяли и определяли активность по методу Huber [10], модифицировав его относительно культуры. Выделение СС и определение ее активности проводили по методике, описанной нами ранее [7].

Для определения сахарозы в листьях, корнеплодах, а также в сосудисто-проводящих пучках, которые выделяли из черешков вручную, навеску материала (500 мг) фиксировали кипящим 80 % этанолом, а затем проводили 3-х кратную экстракцию 80 % этанолом растворимых углеводов. Собранный после экстракции и центрифугирования супернатант выпаривали, разводили до определенного объема водой, снова центрифугировали и использовали для определения сахарозы резорциновым методом, который предполагает разрушение фруктозы щелочью [12]. В работе использовали реактивы фирмы «Serva» (Германия).

Определение содержания хлорофилла и каротиноидов проводили по методу Wellburn [14], сахаристость корнеплодов – поляриметрическим методом [5].

Данные по активности ферментов, содержанию сахарозы, хлорофилла и каротиноидов представляют собой средние значения из трех аналитических повторностей и их отклонения. Данные урожая корнеплодов обработаны по компьютерной программе “Agrostat”.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Современные технологии выращивания сахарной свеклы включают широкий спектр влияния на растения с целью повышения их продуктивности. Режим минерального питания, как средство регуляции физиологических процессов, оказывает существенное влияние на активность ключевого фермента синтеза сахарозы в листьях – СФС. При выращивании свеклы на делянке, где не вносились удобрения, активность фермента была низкой и значительно уменьшалась к концу вегетации. При внесении в почву минеральных удобрений в дозе  $N_{140}P_{180}K_{170}$  и обработке посевов акварином синтез сахарозы в листьях, осуществляемый СФС-зой, активировался на протяжении всей вегетации. Максимальная активация в 3-4 раза достигалась в конце вегетации, когда общий уровень активности значительно снижался. Это важно, так как свидетельствует о продлении к концу вегетации функциональной активности листьев. При этом активируется как удельная (на 1 мг белка), так и общая (на 1 г ткани) активность. На этом высоком фоне активации фермента макро- и микроэлементами обработка бетастимулином дополнительно повышала активность на 48-64 %, но только в середине вегетации (табл. 1). Конец июля, начало августа – время наиболее интенсивного формирования листового аппарата и оттока ассимилятов в корнеплод, высокая активность СФС и ее активация в этот период вносит значительный вклад в процесс сахаронакопления.

Так как СФС регулируется двухвалентными катионами, важно было установить реакцию фермента на акварин, в состав которого входят, кроме макроэлементов, ряд двухвалентных катионов (Mg, Mn, Cu, Fe), в условиях *in vitro*. Для этого к выделенному из контрольного варианта ферментному препарату, добавляли акварин из расчета его содержания 0,75%, 1,5%, 2,0% в инкубационной среде. Установлено, что акварин активировал СФС в условиях *in vitro*, причем эта активация максимальна при 1,5 % концентрации акварина (табл. 2).

Обобщая наши предыдущие результаты по активации СФС при прямом взаимодействии фермента с регуляторами роста – эмистимом С и бетастимулином [8], гормональными препаратами (БАП, ИУК, ГК) [6], а также полученные данные по активации фермента акварином,

можно сказать, что фермент регулируется экзогенными физиологически активными веществами.

Активность СФС зависит от состояния фотосинтетического аппарата. В сложной системе эндогенной регуляции СФС есть механизмы, которые координируют связь между интенсивностью фотосинтеза и синтезом сахарозы в листьях [1].

Повышение активности СФС при выращивании свеклы на высоком фоне минерального питания сопровождалось значительным увеличением содержания хлорофилла ( $a + v$ ), и отношения хлорофилла  $a$  к каротиноидам в течение всей вегетации (табл. 3). Обработка посевов бетастимулином способствовала увеличению суммы хлорофиллов только в середине вегетации, что соответствует и активации СФС в этот период.

Высокий уровень минерального питания в значительной степени определял рост вегетативных и запасающих органов сахарной свеклы. Масса ботвы увеличилась более чем два раза. Обработка посевов сахарной свеклы бетастимулином стимулировала увеличение зеленой массы с середины вегетации по сравнению с растениями, выращенными только на высокой дозе минерального питания (табл. 4).

Концентрация сахарозы в листьях и сосудисто-проводящих пучках может быть косвенным доказательством интенсивности ее оттока в корнеплоды. В начале вегетации содержание сахарозы в листьях и сосудисто-проводящих пучках в опытных вариантах было ниже или на уровне контроля. В середине вегетации содержание сахарозы в листьях снижалось при повышении ее уровня в сосудисто-проводящих пучках, что говорит об интенсивном оттоке в этот период. К концу вегетации содержание сахарозы в листьях и сосудисто-проводящих пучках растений, выращиваемых на высоком фоне минерального питания, значительно повышалось. Это коррелирует со значительной активацией СФС, но, вместе с тем, сама активность фермента была низкой и поэтому высокий уровень сахарозы в тканях свидетельствует о некотором замедлении оттока в этот период (см. табл. 1). Обработка посевов бетастимулином существенно не изменила распределение сахарозы по тканям сахарной свеклы.

## ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Таблица 1

### Влияние минерального питания и бетастимулина на активность сахарозофосфатсинтазы в листьях сахарной свеклы

Варианты	2006 г.			2007 г.		
	12.07	07.08	11.09	10.07	06.08	11.09
Активность сахарозофосфатсинтазы, мкмоль сахарозы/ мг белка · час						
Контроль	$\frac{2,4 \pm 0,01}{100}$	$\frac{1,4 \pm 0,1}{100}$	$\frac{0,47 \pm 0,01}{100}$	$\frac{4,0 \pm 0,1}{100}$	$\frac{1,9 \pm 0,05}{100}$	$\frac{1,0 \pm 0,05}{100}$
НРК + акварин	$\frac{4,4 \pm 0,1}{183}$	$\frac{2,2 \pm 0,1}{157}$	$\frac{1,3 \pm 0,06}{276,5}$	$\frac{5,7 \pm 0,1}{143}$	$\frac{3,7 \pm 0,2}{195}$	$\frac{4,1 \pm 0,1}{410}$
НРК + акварин + бетастимулин	$\frac{3,7 \pm 0,3}{154}$	$\frac{3,1 \pm 0,01}{221}$	$\frac{0,95 \pm 0,01}{202}$	$\frac{5,6 \pm 0,05}{140}$	$\frac{4,7 \pm 0,3}{247}$	$\frac{2,0 \pm 0,02}{200}$
Активность сахарозофосфатсинтазы, мкмоль сахарозы/г ткани · час						
Контроль	$\frac{99,3 \pm 0,01}{100}$	$\frac{59,0 \pm 0,7}{100}$	$\frac{12,7 \pm 0,01}{100}$	$\frac{223,0 \pm 10,0}{100}$	$\frac{86,3 \pm 1,3}{100}$	$\frac{61,9 \pm 0,9}{100}$
НРК + акварин	$\frac{160,0 \pm 12,6}{162}$	$\frac{116,1 \pm 2,1}{197}$	$\frac{45,3 \pm 2,1}{357}$	$\frac{304,0 \pm 10,0}{136}$	$\frac{194,7 \pm 3,4}{226}$	$\frac{253,3 \pm 10,1}{409}$
НРК + акварин + бетастимулин	$\frac{149,6 \pm 4,2}{151}$	$\frac{145,0 \pm 0,01}{245}$	$\frac{23,2 \pm 0,01}{183}$	$\frac{277,6 \pm 5,6}{124}$	$\frac{246,9 \pm 2,4}{286}$	$\frac{122,8 \pm 0,4}{198}$

Таблица 2

### Влияние акварина на активность сахарозофосфатсинтазы в условиях *in vitro*

Варианты	Активность сахарозофосфатсинтазы, мкмоль сахарозы			
	на мг белка · час		на г ткани · час	
	10.07.07		6.08.07	
Контроль	$\frac{4,0 \pm 0,2}{100}$	$\frac{223,0 \pm 2,5}{100}$	$\frac{1,1 \pm 0,01}{100}$	$\frac{48,8 \pm 0,8}{100}$
0,75 % акварин	$\frac{6,1 \pm 0,3}{153}$	$\frac{337,5 \pm 12,0}{151}$	$\frac{1,2 \pm 0,05}{109}$	$\frac{54,4 \pm 0,4}{111}$
1,5 % акварин	$\frac{5,8 \pm 0,01}{145}$	$\frac{322,0 \pm 0,01}{144}$	$\frac{1,8 \pm 0,1}{164}$	$\frac{80,7 \pm 5,0}{165}$
2,0 % акварин	$\frac{4,8 \pm 0,01}{120}$	$\frac{266,3 \pm 0,01}{119}$	-	-

Таблица 3

### Содержание пигментов в листьях сахарной свеклы, выращиваемой в условиях совместного действия элементов питания и бетастимулина

Варианты	2006 г.			2007 г.		
	12.07	07.08	11.09	10.07	06.08	11.09
Хлорофилл (a+v), мг/г ткани						
Контроль	$0,91 \pm 0,01$	$1,18 \pm 0,05$	$0,89 \pm 0,02$	$0,95 \pm 0,01$	$0,88 \pm 0,02$	$1,10 \pm 0,01$
НРК + акварин	$1,31 \pm 0,02$	$1,47 \pm 0,01$	$1,21 \pm 0,07$	$1,24 \pm 0,01$	$1,36 \pm 0,01$	$1,48 \pm 0,02$
НРК + акварин + бетастимулин	$1,27 \pm 0,01$	$1,65 \pm 0,05$	$0,98 \pm 0,02$	$1,29 \pm 0,05$	$1,31 \pm 0,05$	$1,43 \pm 0,05$
Хл. a / каротин						
Контроль	3,1	4,5	3,6	4,5	3,9	4,0
НРК + акварин	4,3	5,4	3,8	4,6	5,0	4,3
НРК + акварин + бетастимулин	4,0	5,4	3,6	4,2	4,8	4,6

**Содержание сахарозы в листьях и сосудисто-проводящих пучках сахарной свеклы, выращенной в условиях совместного действия элементов питания и бета-стимулина, мкмоль /г ткани**

Варианты	2006 г.			2007 г.		
	12.07	07.08	11.09	10.07	06.08	11.09
Масса ботвы, г						
Контроль	298	432	425	290	490	235
НРК + акварин	592	667	930	600	610	704
НРК + акварин + бета-стимулин	622	802	940	565	950	650
Сахароза листьев						
Контроль	23,2±0,01	19,0±0,01	34,8±1,1	35,4±0,4	33,8±0,2	31,1±0,9
НРК + акварин	24,2±1,00	16,9±2,10	38,5±2,4	25,3±0,1	29,5±0,1	38,5±0,5
НРК + акварин + бета-стимулин	24,4±0,01	15,8±1,00	43,8±0,5	25,8±0,2	24,8±0,2	35,6±0,1
Сахароза сосудисто-проводящих пучков						
Контроль	236,4±16,9	291,3±4,2	443,3±1,0	292,6±2,6	437,0±10,0	200,5±5,5
НРК + акварин	240,6±12,6	312,0±8,0	543,6±15,8	244,8±6,6	413,8±2,4	376,5±5,1
НРК + акварин + бета-стимулин	219,5±8,4	312,4±8,2	596,4±5,3	202,6±4,2	500,3±10,2	336,4±2,4

Часть поступающей в корнеплод сахарозы включается ферментом СС в метаболизм, обеспечивая субстратами процессы роста. Внесение в почву минеральных удобрений и обработка акварином стимулировала активность СС в реакции расщепления сахарозы в течение всей вегетации на 16-85 %. Активация СС сопровождалась значительным, иногда в 2,5 раза, увеличением массы корнеплодов, но при этом содержание сахарозы в них снижалось (табл. 5). Обработка бета-стимулином посевов, выращиваемых на дозе НРК и акварина, приводила к некоторому снижению активности СС в реакции расщепления сахарозы или сохранению ее на уровне контроля, что выражалось в замедлении темпа ростовых процессов и повышении содержания сахарозы. В результате содержание сахарозы в пересчете на один корнеплод в свекле, выращиваемой на дозе N<sub>140</sub>P<sub>180</sub>K<sub>170</sub> с обработкой посевов акварином было больше в течение вегетации в 2-1,8-1,3 раза, а при обработке бета-стимулином - в 2,7-2,1-1,5 раза.

Изменения биосинтетических процессов в листьях и корнеплодах сахарной свеклы, происходящие при выращивании сахарной свеклы на высоком фоне микро- и макроэлементов, а также обработка бета-стимулином, сказались на продуктивности. Так, урожайность в варианте без бета-стимулина повысилась более чем в два раза, но содержание сахарозы снизилось на 1-

0,4 %. При этом прибавка сбора сахара составила 5,6-5,5 т/га. При обработке посевов бета-стимулином сахаристость снизилась на 0,7-0,1 %, в результате прибавка сахара составила 6,1-5,9 т/га. С учетом снижения накопления сухого вещества содержание сахарозы на массу сухого вещества по данным за 2006 г. во всех вариантах было одинаковым, а в 2007 г. – в опытных вариантах несколько выше, чем в контроле (табл. 6). В составе сухого вещества в опытных вариантах несахара составляли меньшую часть, отношение сахарозы к несахарам несколько выше, что свидетельствует о физиологической зрелости корнеплодов.

Таким образом, при выращивании сахарной свеклы при внесении N<sub>140</sub>P<sub>180</sub>K<sub>170</sub> совместно с внекорневой подкормкой акварином происходит активация СФС в листьях, повышение содержания фотосинтетических пигментов, усиление ростовых процессов и оттока сахарозы в корнеплоды. Активация СС в корнеплодах в реакции расщепления сахарозы стимулирует их рост и высокую урожайность, однако сахаристость при этом снижается. Обработка посевов регулятором роста бета-стимулином увеличивала функциональную активность листьев, при этом расщепление сахарозы в корнеплодах сахарозосинтазой снижалось, в результате чего происходило, хоть и незначительное, повышение содержания сахарозы. Как результат – вы-

**ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ**

Таблица 5

**Влияние минерального питания и бетастимулина на активность сахарозосинтазы и содержание сахарозы в корнеплодах сахарной свеклы**

Варианты	Масса корнеплода, г	Активность сахарозосинтазы, мкмоль фруктозы		Сахароза, ммоль	
		на мг белка·ч	на г ткани·ч	на г ткани	на 1 корнеплод
12.07.06					
Контроль	64± 10	$\frac{9,35 \pm 0,05}{100}$	$\frac{18,0 \pm 0,01}{100}$	0,6± 0,05	38,4
НПК + акварин	175± 58	$\frac{12,4 \pm 0,2}{133}$	$\frac{20,8 \pm 0,2}{116}$	0,43± 0,04	75,3
НПК + акварин + бетастимулин	154± 33	$\frac{9,8 \pm 0,1}{105}$	$\frac{18,8 \pm 0,02}{104}$	0,67± 0,03	103,2
07.08.06					
Контроль	262± 40	$\frac{14,5 \pm 0,1}{100}$	$\frac{18,7 \pm 0,8}{100}$	1,43± 0,02	374,7
НПК + акварин	686 ±120	$\frac{18,7 \pm 0,1}{129}$	$\frac{20,9 \pm 0,3}{112}$	1,0± 0,01	686,0
НПК + акварин + бетастимулин	659 ±81	$\frac{11,4 \pm 0,05}{79}$	$\frac{15,4 \pm 0,5}{82}$	1,2± 0,04	791,0
11.09.06					
Контроль	630± 118	$\frac{4,4 \pm 0,05}{100}$	$\frac{11,5 \pm 0,1}{100}$	1,6± 0,13	1008
НПК + акварин	1095± 145	$\frac{8,15 \pm 0,15}{185}$	$\frac{15,5 \pm 0,2}{135}$	1,22± 0,01	1324
НПК + акварин + бетастимулин	1285± 209	$\frac{4,34 \pm 0,05}{98}$	$\frac{10,2 \pm 0,1}{87}$	1,24± 0,04	1593

Таблица 6

**Влияние элементов питания и бетастимулина на продуктивность сахарной свеклы**

Показатели	Варианты					
	Контроль		НПК + акварин		НПК + акварин + бетастимулин	
	2006г.	2007г.	2006г.	2007г.	2006г.	2007г.
Урожай корнеплодов, т/га	26,4	22,3	58,2	54,5	59,8	56,0
Прибавка к контролю, т/га	-	-	31,8	32,2	33,4	33,7
Содержание сахарозы, %	19,4	17,6	18,4	17,2	18,7	17,5
Сбор сахара, т/га	5,1	3,9	10,7	9,4	11,2	9,8
Прибавка сбора сахара, т/га	-	-	5,6	5,5	6,1	5,9
Содержание сухого вещества, %	28,0	27,0	26,4	25,8	26,9	26,2
Сахароза / сухое вещество, %	69,3	65,2	69,5	66,6	69,5	66,9
Несахара, %	8,6	9,4	8,05	8,6	8,2	8,7
Сахароза / несахара	2,2	1,9	2,3	2,0	2,3	2,0

**Примечание:** НСР<sub>05</sub> – по урожайности: 2006 г. – 1,49 т/га; 2007 г. – 1,45 т/га.  
по содержанию сахарозы: 2006 г. – 0,13 %; 2007 г. – 0,13 %.

ход сахара увеличивался не только за счет высокой урожайности, но и вследствие повышения сахаристости. Полученные данные свидетельствуют о том, что, применяя различные дозы удобрений и соотношение в них элементов питания, необходимо учитывать их влияние на направленность тех метаболических процессов,

которые определяют не только интенсивность роста корнеплодов, но и их сахаристость. Среди них ключевые ферменты синтеза и метаболизма сахарозы – СФС и СС, активность которых регулируется микро- и макроэлементами.

Если азот активизирует СС в реакции расщепления сахарозы в корнеплодах, то двухва-

лентные катионы типа Mg, Mn – активируют синтез сахарозы СФС. Поэтому, при выборе состава микроэлементов для внекорневой подкормки следует учитывать их роль в регуляции этого фермента. Акварин, по нашим данным, активировал СФС как при обработке посевов, так и при непосредственном взаимодействии с ферментом. Однако, при выращивании свеклы на высоком минеральном фоне ( $N_{140}P_{180}K_{170}$ ), совместно с обработкой акварином при более чем двукратном увеличении урожайности не достигался тот уровень сахаристости, который получен без применения удобрений. В результате прибавка сбора сахара достигалась только за счет увеличения урожайности.

В неразрывной связи с факторами питания на растения влияют физиологически активные вещества. Так, испытанный нами ранее регулятор роста сахарной свеклы бетастимулин в комплексе с примененными микро- и макроэлементами, активируя синтез сахарозы в листьях СФС и снижая ее расщепление в корнеплодах, стимулировал повышение сахаристости. В результате прибавка сбора сахара была на 0,4-0,5 т/га больше по сравнению с вариантом без обработки бетастимулином.

Полученные экспериментальные данные позволяют сделать вывод о том, что принцип взаимного усиления действия на растения регуляторов роста и микро- и макроэлементов может быть основополагающим в разработке комплексной системы воздействия на растение минерального питания и физиологически активных веществ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Курсанов А.Л. Хлоропласт как датчик ассимилятов // Фотосинтез и продукционный процесс. – М.: Наука, 1988. – С. 277.
2. Лещенко Е. В., Оканенко А.С. Активность и направленность действия сахарозосинтазы в корнеплодах свеклы // Современные проблемы физиологии и биохимии сахарной свеклы. – Киев: Наукова думка, 1981. – С. 87-93.
3. Мамбеткулов Ш. Влияние минерального питания на некоторые особенности углеводного обмена и продуктивность сахарной свеклы: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Ташкент, 1979. – 22 с.
4. Мамбеткулов Ш., Печенов В.А. Влияние минерального питания на активность фермента сахарозосинтазы в корнеплодах сахарной свеклы // Современные проблемы физиологии и биохимии сахарной свеклы. – Киев: Наукова думка, 1981. – С. 133-136.
5. Починок Х.Н. Методы биохимического анализа растений. – Киев: Наукова думка. – 1976. – С. 154-157.
6. Сакало В.Д., Курчий В.М. Гормональная регуляция сахарозофосфатсинтазы и сахарозосинтазы сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L.) // Физиология растений. – 2004. – Т. 53, № 2. – С. 205-210.
7. Сакало В.Д., Пономаренко С.П., Курчий В.М. Регуляция эмистимом С и бетастимулином метаболизма сахарозы и продуктивности сахарной свеклы // Агрехимия. – 2001. – № 10. – С. 49-55.
8. Сакало В.Д., Пономаренко С.П., Курчий В.М. Влияние экзогенных регуляторов роста на сахарозосинтезирующую способность сахарной свеклы (*Beta vulgaris* L.) // Физиология и биохимия культ. растений. – 2001. – Т. 33, № 1. – С. 20-27.
9. Сакало В.Д., Пономаренко С.П., Курчий В.М. Влияние сроков обработки сахарной свеклы эмистимом С и бетастимулином на метаболизм сахарозы и продуктивность // Агрехимия. – 2004. – № 5. – С. 59-65.
10. Huber S.C. Role of sucrose phosphate synthetase in partitioning of carbon in leaves // Plant Physiol. – 1983. – V. 71, N 4. – P. 818-821.
11. Pontis H.G., Salerno G.L. Regulation of sucrose levels in plant cells // Mechanisms of saccharide polymerization and depolymerization / Ed. J.J. Marchall. – New York: Academic Press, 1980. – P. 31-42.
12. Roe J.H. A Colorimetric method for the determination of fructose in blood and urine // J. Biol. Chem. – 1954. – V. 107. – P. 15-22.
13. Sols A., Marco R. Concentration of metabolites and binding sites. Implications in metabolites and binding sites. Implications in metabolic regulation // Current Topics Cell Reg. – 1970. – V. 2. – P. 227-273.
14. Wellburn A.R. The spectral determination of chlorophyll *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution // J. Plant Physiol. – 1994. – V. 144. – P. 307-313.

Поступила в редакцию  
02.04.2008 г

## **ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ**

### **INFLUENCE OF MINERAL NUTRITION AND BETASTIMULIN ON THE SYNTHESIS AND ACCUMULATION OF SUCROSE IN THE SUGAR BEET (*BETA VULGARIS L.*)**

V. D. Sakalo<sup>1</sup>, I. U. Marchuk<sup>2</sup>, V. M. Kurchii<sup>1</sup>, V. M. Kozak<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Plant Physiology and Genetics National Academy of Sciences  
(Kyiv, Ukraine)*

<sup>2</sup>*National Agricultural University  
(Kyiv, Ukraine)*

Effect of high doses of NPK and foliar nutrition by complex mineral fertilizer Akvarin N5, and spraying these sowing with betastimulin on the synthetic processes and the productivity of sugar beet hybrid Ukrainskaya MS-70 were studied. It is found that during cultivation of sugar beet on the high doses of mineral nutrition the sucrose phosphate synthase activity in the leaves, the transport intensify, the sucrose synthase activity in the cleaver reaction of sucrose in the roots have been increased. The sugar beet yield under these conditions increased from 2 to 2,5 fold, at the same time the sugar content decreased at 0,7-1,0 %. The spraying of sowing with betastimulin activated bio-synthetic processes in the leaves, but sucrose synthase activity in the roots decreased and as a result the of sugar concentration was increased at the high yield.

**Key words:** *Beta vulgaris L., mineral nutrition, betastimulin, sucrose, sucrose phosphate synthase, sucrose synthase, productivity*

### **ВПЛИВ МІНЕРАЛЬНОГО ЖИВЛЕННЯ ТА БЕТАСТИМУЛІНУ НА СИНТЕЗ І НАКОПИЧЕННЯ САХАРОЗИ В ЦУКРОВИХ БУРЯКАХ (*BETA VULGARIS L.*)**

В. Д. Сакало<sup>1</sup>, І. У. Марчук<sup>2</sup>, В. М. Курчій<sup>1</sup>, В. М. Козак<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України  
(Київ, Україна)*

<sup>2</sup>*Національний аграрний університет  
(Київ, Україна)*

У польових дослідках вивчали вплив високих доз NPK і позакореневого підживлення комплексним добривом Акварином №5, а також обробки цих посівів бетастимуліном на біосинтетичні процеси і продуктивність цукрового буряка гібрида Український ЧС-70. Виявлено, що при вирощуванні цукрового буряка з використанням високих доз мінерального живлення зростала активність сахарозофосфатсинтази в листках, інтенсивність відтоку, активувалась сахарозосинтаза в реакції розщеплення сахарози в коренеплодах. Урожайність коренеплодів цукрового буряка за цих умов зростала в 2-2,5 рази, тоді як цукристість зменшувалась на 0,7-1,0 %. Обробка посівів бетастимуліном активувала біосинтетичні процеси в листках, але знижувала активність сахарозосинтази в коренеплодах. Як результат відбувалося підвищення цукристості за високої урожайності.

**Ключові слова:** *Beta vulgaris L., мінеральне живлення, бетастимулін, сахароза, сахарозофосфатсинтаза, сахарозосинтаза, продуктивність*