

УДК 581.1.134.631

МЕТАБОЛИЗМ САХАРОЗЫ КЛУБЕНЬКОВ СОИ В УСЛОВИЯХ ВОДНОГО ДЕФИЦИТА

© 2011 г. В. Д. Сакало, Е. Н. Тищенко, В. М. Курчий

*Институт физиологии растений и генетики
Национальной академии наук Украины
(Киев, Украина)*

Исследовали изменения углеводного метаболизма клубеньков двух сортов сои, отличающихся толерантностью к засухе – среднеустойчивого сорта Киевская 27 и устойчивого – Чернобурая. Синтез сахарозы сахарозосинтазой в клубеньках сои снижался в условиях дефицита воды как у среднеустойчивого, так и у устойчивого сортов. Показано, что основными ферментами, включающими сахарозу в метаболизм клубеньков, являлись сахарозосинтаза и цитоплазматическая инвертаза, активность которых изменялась в зависимости от продолжительности водного стресса и от устойчивости сорта к засухе. Вакуолярная инвертаза, имеющая низкую активность в клубеньках, в условиях засухи значительно ингибировалась. У сорта Чернобурая повышалось содержание сахарозы, а накопление моносахаридов и снижение количества крахмала отмечено у обоих сортов. Продолжительный водный дефицит (до 7 сут) сопровождался снижением содержания моносахаридов и крахмала у устойчивого сорта и повышением уровня сахарозы у обоих сортов. Накопление моносахаридов при кратковременной засухе, а сахарозы при длительной с одновременным ингибированием ферментов ее расщепления и синтеза, свидетельствует о замедлении включения углеводов в дальнейший метаболизм.

Ключевые слова: *Glycine max (L.) Merr.*, клубеньки сои, сахарозосинтаза, инвертаза, углеводы, засуха

Существенные изменения углеводного метаболизма, происходящие в листьях сои в условиях засухи, не могут не оказывать влияния на процесс азотфиксации, связанный с поступлением в клубеньки как азотных соединений, так и углеводов. Вызванное засухой ингибирование азотфиксации существенно лимитирует урожай сои в засушливых регионах мира. Среди факторов, влияющих на процесс азотфиксации, кроме кислородного голодания и нарушения азотного метаболизма важная роль принадлежит снабжению бактериоидов углеродными соединениями (Udvardi, Day, 1997; Argese-Igor et al., 1999). Основным источником углерода, поступающего из листьев в клубеньки, является сахароза, которая может гидролизываться инвертазой (К.Ф. 3.2.1.26) или расщепляться сахарозосинтазой – СС (К.Ф. 2.4.1.13). Показано, что СС клубеньков является первой

среди ферментов, снижающих активность при действии засухи на растения сои и гороха (Gonzales et al., 1995; Gonzales et al., 1998). В клубеньках гороха снижение активности СС в реакции расщепления сахарозы на ранней стадии водного стресса приводило к отложению сахарозы, уменьшению концентрации органических кислот, в основном малата, созданию недостатка субстратов для дыхания бактериоидов (Calver et al., 2005). Поступающая из листьев сахароза должна активно включаться в метаболизм с образованием высокоэнергетических и аммиаксвязывающих соединений, необходимых для поддержания жизнедеятельности бактериоидов и являющихся источником энергии и восстановителем для нитрогеназы. Установлена прямая зависимость между содержанием в клубеньках сои сахарозы и интенсивностью азотфиксации (Streeter, Boster, 1976; Streeter, 1982). Поэтому, важная роль СС состоит в обеспечении субстратами процесса азотфиксации и функционирования развивающихся клубеньков. Расщепление сахарозы является ключевым ша-

МЕТАБОЛИЗМ САХАРОЗЫ

гом в азотфиксации. Ген, кодирующий СС, экспрессируется в клубеньках и полагают, что контроль экспрессии гена может быть важным в регуляции углеводного метаболизма и азотфиксации (Gordon, James, 1997). Гидролиз сахарозы с образованием двух гексоз в клубеньках сои осуществляет инвертаза. Роль кислой и щелочной инвертазы в гидролизе сахарозы была установлена Морелом и Коплендом (Morrel, Copeland, 1984) для клубеньков сои. По мнению авторов, основной фермент в развивающихся клубеньках – щелочная инвертаза, в то время как в зрелых – активнее СС и инвертаза.

Цель данной работы состояла в изучении роли СС и инвертазы в синтезе и метаболизме сахарозы в клубеньках сои сортов, отличающихся толерантностью к засухе в условиях водного дефицита.

МЕТОДИКА

Два сорта сои, отличающиеся толерантностью к засухе: среднеустойчивый – Киевская 27 и устойчивый Чернобурая (Каталог..., 2003), выращивали в условиях вегетационного опыта в 6-килограммовых вегетационных сосудах со смесью песка и почвы с внесением питательной смеси Гельригеля, содержащей 0,25 нормы азота. Семена перед высевом стерилизовали 70% этанолом и инокулировали производственным штаммом клубеньковых бактерий *Bradyrhizobium japonicum* 634б в течение часа. До образования первой пары настоящих листьев все растения поливали до 70 % ПВ, затем контрольные растения продолжали поливать до 70% ПВ, а в опытных вариантах в течение 2-4-7 сут поддерживали влажность почвы на уровне 40% ПВ. Клубеньки отбирали с растений, у которых была развита первая пара настоящих листьев.

Для выделения ферментов сахарозосинтазы и инвертазы из клубеньков сои навеску 500 мг гомогенизировали в буфере, содержащем 0,05 М трис-НСl, рН 7,5; 1 мМ ЭДТА; по 10 мМ ДТТ и MgCl₂. Гомогенат центрифугировали при 5000 g, супернатант, который содержал цитозольную фракцию клубеньков, фракционировали сульфатом аммония от 20 до 80% насыщения. Полученный после центрифугирования при 15000 g осадок растворяли в минимальном (2-3 мл) объеме этого же буфера и диализовали в течение ночи против разбавленного в 10 раз буфера. Полученный диализат, в котором определяли содержание белка по Лорури, использовали для анализа активности ферментов СС и инвертазы.

Для определения активности сахарозосинтазы клубеньков в реакции расщепления сахарозы инкубационная среда содержала 0,1 М цитратный буфер, рН 6,4 – 50 мкл, УДФ – 2,5 мкМ, сахароза – 20 мкМ, ферментный препарат – 50 мкл. Активность определяли по количеству образовавшейся фруктозы (Somogyi, 1952). В реакции синтеза сахарозы инкубационная среда содержала: 0,2 М трис-НСl буфер, рН 7,5 – 50 мкл, УДФГ – 1 мкМ, фруктоза – 2 мкМ, ферментный препарат – 50 мкл. Общий объем смеси – 0,2 мл. Активность определяли по количеству образовавшейся сахарозы (Roe, 1934).

При определении нейтральной инвертазы инкубационная состояла из: 1/15 М К-фосфатного буфера, рН 7,0 – 50 мкл, сахарозы – 20 мкМ, ферментного препарата – 50 мкл. Для определения кислой инвертазы в смесь вносили 1 М ацетатный буфер, рН 4,7 – 50 мкл, сахарозу – 20 мкмоль, ферментный препарат – 50 мкл. Время инкубации 30 мин при 36°C. Активность определяли по количеству образовавшихся в реакции моносахаридов (Somogyi, 1952). В работе использовали реактивы фирмы “Serva” (Германия).

Для определения сахаров и крахмала навеску клубеньков 500 мг фиксировали кипящим этанолом и трижды экстрагировали последовательно 80–60–20% этанолом. Собранный супернатант, который содержал растворимые углеводы, выпаривали на водяной бане досуха. Сухую фракцию сахаров растворяли в воде и использовали для определения сахарозы резорциновым методом (Roe, 1934), моносахаридов – арсеномолибдатным (Somogyi, 1952). Осадок, полученный после экстракции растворимых углеводов, заливали горячей водой и выдерживали на кипящей водяной бане 1 ч для клейстеризации крахмала. После охлаждения до 50°C добавляли 1 ед. α-амилазы («Fluca», Швеция), растворяли в 1/15 фосфатном буфере (рН 6,5) и ставили на инкубацию при 37°C на 30 мин. После центрифугирования супернатант, который состоял из мальтозы и декстринов (реакции с иодом не давал), гидролизovali 20% НСl в течение 30 мин на кипящей водяной бане до глюкозы, нейтрализовали 20% NaOH, глюкозу определяли по Somogyi (1952).

В таблицах приведены средние арифметические из 4-х аналитических и 2-х биологических повторностей и их стандартные отклонения. Достоверность оценивали по критерию Стьюдента.

Таблица 1. Активность сахарозосинтазы (расщепление сахарозы) клубеньков сои в условиях водного дефицита

Сорт	СС, мкмоль фруктозы / (мг белка•час)		СС, мкмоль фруктозы / (г ткани•час)	
	Контроль	Засуха	Контроль	Засуха
Продолжительность засухи – 2 сут				
Киевская 27	$\frac{3,2 \pm 0,3}{100^{**}}$	$\frac{3,0 \pm 0,15}{92}$	$\frac{62,0 \pm 5,2}{100}$	$\frac{56,3 \pm 2,9}{91}$
Чернобурая	$\frac{4,1 \pm 0,1}{100}$	$\frac{2,6 \pm 0,01^*}{63}$	$\frac{65,6 \pm 1,6}{100}$	$\frac{35,4 \pm 0,6^*}{84}$
Продолжительность засухи – 7 сут				
Киевская 27	$\frac{7,3 \pm 0,1}{100}$	$\frac{7,9 \pm 0,5}{109}$	$\frac{82,8 \pm 0,4}{100}$	$\frac{91,7 \pm 6,4^*}{110}$
Чернобурая	$\frac{11,8 \pm 0,01}{100}$	$\frac{8,9 \pm 0,2^*}{76}$	$\frac{90,1 \pm 0,6}{100}$	$\frac{102 \pm 3,3^*}{113}$

Примечания. * Здесь и в табл. 2-6 разница достоверна при P=0,05 относительно контроля.

** Здесь и в табл. 2 в знаменателе активность фермента в % к контролю.

Таблица 2. Активность сахарозосинтазы (синтез сахарозы) клубеньков сои в условиях водного дефицита

Сорт	СС, мкмоль сахарозы / (мг белка•час)		СС, мкмоль сахарозы / (г ткани•час)		Синтез/расщепление	
	Контроль	Засуха	Контроль	Засуха	Контроль	Засуха
Продолжительность засухи – 2 сут						
Киевская 27	$\frac{14,8 \pm 1,2}{100}$	$\frac{10,0 \pm 0,8^*}{68}$	$\frac{289,3 \pm 23,0}{100}$	$\frac{188,0 \pm 16,0^*}{65}$	4,6	3,3
Чернобурая	$\frac{16,5 \pm 1,0}{100}$	$\frac{10,1 \pm 0,05^*}{61}$	$\frac{194,5 \pm 12,2}{100}$	$\frac{142,5 \pm 5,7^*}{73}$	4,0	3,9
Продолжительность засухи – 7 сут						
Киевская 27	$\frac{25,0 \pm 0,3}{100}$	$\frac{17,8 \pm 1,3^*}{71}$	$\frac{283,9 \pm 3,5}{100}$	$\frac{204,7 \pm 14,2^*}{72}$	3,4	2,2
Чернобурая	$\frac{31,8 \pm 0,4}{100}$	$\frac{15,7 \pm 0,01^*}{49}$	$\frac{244,2 \pm 3,1}{100}$	$\frac{180,0 \pm 0,01^*}{74}$	2,7	1,8

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Так как синтез сахарозы в листьях, ее отток в клубеньки, образование субстратов для азотфиксации – процессы взаимосвязанные, нарушение синтеза и метаболизма в листьях сои в условиях дефицита воды приводит и к нарушению углеводного обмена в клубеньках.

Включение сахарозы в метаболизм, осуществляемое СС в реакции расщепления сахарозы, в условиях непродолжительного водного стресса (2 сут) достоверно снижалось у устойчивого сорта Чернобурая (на 16-37 %), а у среднеустойчивого сорта Киевская 27 практически не изменялось (табл. 1). Продолжение водного дефицита до 7 сут у этого сорта приво-

дило к незначительному (9-10%) повышению активности СС в реакции расщепления сахарозы, в то время как у сорта Чернобурая удельная активность ингибировалась на 24%, но общая вследствие увеличения содержания белка даже активировалась на 13 %. Активность СС в реакции синтеза сахарозы в условиях водного дефицита продолжительностью как 2, так и 7 сут ингибировалась у обоих сортов (табл. 2). В результате отношение реакций синтеза/расщепление сахарозы в условиях засухи снижалось в клубеньках обоих сортов сои.

В клубеньках сои обнаружена высокая активность цитоплазматической инвертазы (ЦИ) (табл. 3). В условиях кратковременной засухи отмечены лишь незначительные измене-

МЕТАБОЛИЗМ САХАРОЗЫ

Таблица 3. Активность цитоплазматической инвертазы (ЦИ) клубеньков сои в условиях водного дефицита

Сорт	мкмоль фруктозы / (мг белка•час)		мкмоль фруктозы / (г ткани•час)	
	Контроль	Засуха	Контроль	Засуха
2009 г.				
Продолжительность засухи – 2 сут				
Киевская 27	<u>8,2±0,6</u> 100	<u>8,5±0,3</u> 104	<u>206,2±18,4</u> 100	<u>213,8±10,0</u> 104
Чернобурая	<u>11,2±0,2</u> 100	<u>10,5±0,1*</u> 94	<u>259,3±2,1</u> 100	<u>240,8±2,5*</u> 93
Продолжительность засухи – 4 сут				
Киевская 27	<u>17,0±0,1</u> 100	<u>13,7±0,05*</u> 80	<u>256,2±20,0</u> 100	<u>261,2±10,0</u> 102
Чернобурая	<u>11,2±0,1</u> 100	<u>11,7±0,15</u> 105	<u>271,8±0,6</u> 100	<u>289,2±7,0*</u> 106
2010 г.				
Продолжительность засухи – 2 сут				
Киевская 27	<u>17,2±0,3</u> 100	<u>15,1±0,4*</u> 88	<u>335,9±0,8</u> 100	<u>285,3±8,0</u> 85
Чернобурая	<u>17,4±0,2</u> 100	<u>18,2±0,5</u> 104	<u>274,4±4,0</u> 100	<u>299,4±6,6*</u> 109
Продолжительность засухи – 7 сут				
Киевская 27	<u>22,1±0,6</u> 100	<u>17,7±1,0*</u> 75	<u>250,2±4,2</u> 100	<u>203,3±12,2*</u> 81
Чернобурая	<u>31,6±1,3</u> 100	<u>16,9±0,1*</u> 54	<u>242,6±10,2</u> 100	<u>192,9±1,8*</u> 80

Таблица 4. Активность вакуолярной инвертазы (ВИ) клубеньков сои в условиях водного дефицита

Сорт	мкмоль фруктозы / (мг белка•час)		мкмоль фруктозы / (г ткани•час)	
	Контроль	Засуха	Контроль	Засуха
2009 г.				
Продолжительность засухи – 2 сут				
Киевская 27	<u>0,6±0,02</u> 100	<u>0,3±0,0*</u> 50	<u>8,6±0,4</u> 100	<u>5,2±0,2*</u> 60
Чернобурая	<u>0,6±0,0</u> 100	<u>0,13±0,01*</u> 22	<u>2,4±0,01</u> 100	<u>0,34±0,02</u> 14
Продолжительность засухи – 4 сут				
Киевская 27	<u>1,23±0,03</u> 100	<u>0,29±0,01*</u> 24	<u>20,5±0,6</u> 100	<u>6,4±0,0*</u> 31
Чернобурая	<u>1,4±0,01</u> 100	<u>0,8±0,01*</u> 57	<u>34,8±0,08</u> 100	<u>20,1±0,4</u> 58
2010 г.				
Продолжительность засухи – 2 сут				
Киевская 27	<u>1,6±0,0</u> 100	<u>0,4±0,07*</u> 25	<u>32,0±0,0</u> 100	<u>7,2±1,5*</u> 23
Чернобурая	<u>0,75±0,25</u> 100	<u>0,1±0,0*</u> 13	<u>12,0±0,4</u> 100	<u>1,2±0,0*</u> 10
Продолжительность засухи – 7 сут				
Киевская 27	<u>2,1±0,05</u> 100	<u>0,4±0,0*</u> 18	<u>23,4±0,6</u> 100	<u>4,3±0,0*</u> 18
Чернобурая	<u>1,25±0,0</u> 100	<u>0,9±0,1*</u> 65	<u>9,6±0,0</u> 100	<u>10,4±0,8</u> 108

САКАЛО, ТИЩЕНКО, КУРЧИЙ

ния активности этой формы фермента, как у среднеустойчивого сорта Киевская 27, так и у устойчивого сорта Чернобурая. Необходимо отметить, что в опытах 2010 года активность ЦИ клубеньков сои была значительно выше и на этом фоне отличалась и реакция фермента на водный дефицит. Но в общем можно считать, что при кратковременной засухе существенных изменений в активности ЦИ клубеньков сои не происходит. Через 4 сут засухи отмечено ингибирование на 20% только удельной активности у среднеустойчивого сорта Киевская 27 и лишь при продолжении засухи до 7 сут наблюдалось значительное ингибирование удельной активности ЦИ, которое в клубеньках сорта Чернобурая составляло 46%.

В молодых клубеньках сои нами обнаружена и кислая (вакуолярная) инвертаза (ВИ), хотя ее активность на порядок ниже цитоплазматической (ЦИ). Но все же эта инвертаза очень сильно реагировала на водный дефицит, ее активность ингибировалась на 50-80% уже при кратковременной засухе, причем независи-

мо от толерантности сорта (табл. 4).

В условиях водного дефицита изменения активности ферментов расщепления и гидролиза сахарозы тесно связаны с содержанием сахарозы в клубеньках сои (табл. 5). Так, при кратковременной засухе у среднеустойчивого сорта Киевская 27 содержание сахарозы в клубеньках сохранялось на уровне контроля, в то время как у устойчивого сорта Чернобурая – повышалось на 33%. Продолжительная засуха (7 сут) у обоих сортов вызывала повышение содержания сахарозы на 70-75%, что на фоне ингибирования активности СС как в реакции синтеза, так и расщепления свидетельствует о том, что в этих условиях нарушается использование сахарозы в метаболизме клубеньков. Повышение содержания моносахаридов в условиях кратковременной засухи также может быть связано с замедлением их включения в метаболизм. Содержание крахмала при 2-суточном дефиците воды у обоих сортов снижалось на 37-54%, но при продолжении засухи до 7 сут у сорта Киевская 27 достигало уровня контроля, а у сорта Чернобурая до 78%, от контроля (табл. 6). При этом

Таблица 5. Содержание сахарозы и моносахаридов в клубеньках сои в условиях водного дефицита

Сорт	Сахароза, мкмоль на 1 г сухого вещества		Моносахарида, мкмоль на 1 г сухого вещества		Сахароза/моносахариды	
	Контроль	Засуха	Контроль	Засуха	Контроль	Засуха
Продолжительность засухи – 2 сут						
Киевская 27	$\frac{107,4 \pm 0,0}{100}$	$\frac{107,0 \pm 3,0}{99}$	$\frac{11,9 \pm 0,5}{100}$	$\frac{16,9 \pm 0,2^*}{142}$	9,0	6,3
Чернобурая	$\frac{83,0 \pm 1,6}{100}$	$\frac{110,3 \pm 0,3^*}{133}$	$\frac{15,0 \pm 0,0}{100}$	$\frac{18,1 \pm 0,6^*}{121}$	5,5	6,1
Продолжительность засухи – 7 сут						
Киевская 27	$\frac{108,4 \pm 0,2}{100}$	$\frac{189,9 \pm 5,7^*}{175}$	$\frac{8,9 \pm 0,7}{100}$	$\frac{8,7 \pm 0,4}{98}$	12,2	21,8
Чернобурая	$\frac{75,4 \pm 0,0}{100}$	$\frac{127,7 \pm 5,6^*}{170}$	$\frac{9,8 \pm 0,1}{100}$	$\frac{7,6 \pm 0,6^*}{77}$	7,7	16,8

Таблица 6. Содержание крахмала в клубеньках сои в условиях водного дефицита (мкмоль глюкозы на 1 г сухого вещества)

Сорт	2 сут засухи				7 сут засухи			
	Контроль	Засуха	Сах./крахмал		Контроль	Засуха	Сах./крахмал	
			Контроль	Засуха			Контроль	Засуха
Киевская 27	$\frac{142,8 \pm 2,3}{100}$	$\frac{66,6 \pm 0,6^*}{46}$	0,75	1,6	$\frac{144,3 \pm 0,0}{100}$	$\frac{151,1 \pm 3,9^*}{105}$	0,75	1,3
Чернобурая	$\frac{85,9 \pm 2,3}{100}$	$\frac{57,5 \pm 1,4^*}{67}$	0,97	1,9	$\frac{98,8 \pm 0,0}{100}$	$\frac{77,5 \pm 0,0^*}{78}$	0,76	1,6

МЕТАБОЛИЗМ САХАРОЗЫ

отношение сахара/крахмал в условиях засухи повышалось у обоих сортов. Возможно, что при кратковременной засухе активировался процесс гидролиза крахмала на фоне снижения активности ферментов расщепления сахарозы, при увеличении продолжительности стресса до 7 сут идет общее замедление метаболизма углеводов и, в том числе, гидролиза крахмала. Известно, что в клубеньках гороха основная роль в расщеплении сахарозы отводится СС, а не ЦИ (Gordon et al., 1999). В наших опытах, проведенных на двух различных по устойчивости к засухе сортах сои, активность ЦИ была высокой, и ингибируется она в основном при продолжительном действии засухи. Какой из двух ферментов – цитоплазматическая инвертаза или сахарозсинтаза – преимущественно ответственен за катаболизм сахарозы в молодых клубеньках сои в условиях водного дефицита остается неизвестным. Тем более, есть еще вакуолярная инвертаза, активность которой хотя и очень низкая, но в молодых клубеньках сои была обнаружена, причем сильно ингибировалась при дефиците воды. По-видимому, каждый из этих ферментов в разной степени отвечает за метаболизм сахарозы в клубеньках сои.

ЛИТЕРАТУРА

- Каталог сортів рослин придатних для поширення в Україні на 2004 р.* – К., 2003.
- Arrese-Igor, Gonzalez E.M., Gordon A.J. et al.* Sucrose synthase and nodule nitrogen fixation under drought and other environmental stress // *Symbios.* – 1999. – V. 27. – P. 189-212.
- Calvez Z., Gonzales E.M., Arresse I.* Evidence for carbon flux storage and strong carbon/nitrogen interaction in pea nodules at early stages of water stress // *J. Exp. Bot.* – 2005. – V. 56. – P. 2551-2561.
- Gonzales E.M., Gordon A.J., James C.L. et al.* The role of sucrose synthase in the response of soybean nodules to drought // *J. Exp. Bot.* – 1995. – V. 46. – P. 1515-1523.
- Gonzales E.M., Aparicio-Tejo P.M., Gordon A.J. et al.* Water deficit effect on carbon and nitrogen metabolism of pea nodules // *J. Exp. Bot.* – 1998. – V. 49. – P. 1705-1714.
- Gordon A.J., James C.L.* Enzymes of carbohydrate and amino acid metabolism in developing and mature nodules of white clover // *J. Exp. Bot.* – 1997. – V. 48. – P. 895-903.
- Gordon A.J., Minchin F.R., James C.L. et al.* Sucrose synthase in Legume nodules is essential for nitrogen fixation // *Plant Physiol.* – 1999. – V. 120. – P. 867-877.
- Morrel M., Copeland L.* Enzymes of sucrose metabolism in soybean nodules // *Plant Physiol.* – 1984. – V. 74. – P. 1030-1034.
- Roe J.H.* A Colorimetric method for the determination of fructose in blood and urine // *J. Biol. Chem.* – 1934. – V. 107. – P. 15-22.
- Somogyi M.* Notes on sugar determination // *J. Biol. Chem.* – 1952. – V. 195. – P. 18-23.
- Streeter J.G.* Catabolism of disaccharides in soybean root nodules // *Plant Physiol.* – 1982. – V. 62. – P. 147.
- Streeter J.G., Boster M.E.* Carbohydrates in soybean nodules: Identification of compounds and possible relationship to nitrogen fixation // *Plant Sci. Lett.* – 1976. – V. 7. – P. 321-329.
- Udvardi M.K., Day D.A.* Metabolite transport across symbiotic membranes of legume nodules // *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant. Mol. Biol.* – 1997. – V. 48. – P. 493-523.

Поступила в редакцию
11.04.2011 г.

SUCROSE METABOLISM IN SOYBEAN NODULES UNDER WATER DEFICIT

V. D. Sakalo, Ye. M. Tischenko, V. M. Kurchii

*Institute of Plant Physiology and Genetics
National Academy of Sciences of Ukraine
(Kyiv, Ukraine)*

The carbohydrate metabolism in soybean nodules different tolerant to drought of varieties Kievskaya 27 (middle resistant) and Chornobura (resistant) was studied. Sucrose synthesis by sucrose synthase in the soybean nodules was decreased under water deficit in both varieties. It is found that general enzymes, which include of sucrose in the nodules metabolism, are sucrose synthase and cytoplasmic invertase. The activity of these enzymes changed depending of water

stress continuance and tolerant variety to drought. The vacuolar invertase possessed in the very low activity in the soybean nodules and in the drought conditions was further inhibited. Under short drought (2 daily) in the resistant variety Chornobura the content of sucrose was increased, but monosugars accumulation and starch decreasing was revealed in both varieties. The long time drought (7 daily) was accompanied in the decreasing of monosugar and starch levels in the resistant variety, but sucrose content was increased in both varieties. Monosugar accumulation during short time drought and sucrose during long time drought (simultaneously with inhibition of sucrose synthesis and its hydrolysis) suggests on the slow down of carbohydrate including into the further metabolism.

Key words: *Glycine max (L.) Werr., soybean nodules, sucrose synthase, invertase, carbohydrates, drought*

МЕТАБОЛІЗМ САХАРОЗИ БУЛЬБОЧОК СОЇ В УМОВАХ ВОДНОГО ДЕФІЦИТУ

В. Д. Сакало, О. М. Тищенко, В. М. Курчій

*Інститут фізіології рослин і генетики
Національної академії наук України
(Київ, Україна)*

Досліджували зміни вуглеводного метаболізму бульбочок двох сортів сої, які відрізняються за толерантністю до посухи – середньостійкого сорту Київська 27 і стійкого – Чорнобура. Синтез сахарози сахарозосинтазою в бульбочках сої знижувався за умов дефіциту води як у середньостійкого, так і у стійкого сорту. Показано, що основними ферментами, які включають сахарозу в метаболізм бульбочок були сахарозосинтаза та цитоплазматична інвертаза, активність яких змінювалася залежно від тривалості водного стресу і від стійкості сорту до посухи. Вакуолярна інвертаза мала низьку активність в бульбочках і в умовах посухи значно інгібувалася. В умовах короткотривалої посухи (2 доби) у стійкого сорту підвищувався вміст сахарози, а накопичення моносахаридів і зниження крохмалю відзначалося в обох сортів. Довготривалий водний дефіцит (до 7 діб) супроводжувався зниженням вмісту моносахаридів і крохмалю у стійкого сорту і підвищенням рівня сахарози в обох сортів. Накопичення моносахаридів за короткочасної дії посухи, а сахарози за довготривалої з одночасним інгібуванням ферментів її гідролізу та синтезу, свідчить про уповільнення включення вуглеводів в подальший метаболізм.

Ключові слова: *Glycine max (L.) Merr., бульбочки сої, сахарозосинтаза, інвертаза, вуглеводи, посуха*