

УДК 581.19+631.811.98:[577.152.3+577.112.3 +576.315.45]:633.111.1

## МЕТАБОЛИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ У РАСТЕНИЙ ПШЕНИЦЫ (*Triticum aestivum* L.) ПРИ ДЕЙСТВИИ БИОРЕГУЛЯТОРА СТИФУНА

© 2011 г. О. И. Яхин\*, А. А. Лубянов\*\*\*, И. А. Яхин\*, В. А. Вахитов\*, Р. И. Ибрагимов\*\*\*,  
М. С. Юмагужин\*\*\*\*, З. Ф. Калимуллина\*

\*Институт биохимии и генетики УНЦ РАН, Уфа, 450054

e-mail: yakhin@anrb.ru

\*\*Уфимский филиал Оренбургского государственного университета, Уфа, 450054

\*\*\*Башкирский государственный университет, Уфа, 450007

Поступила в редакцию 1.02.2011 г.

При действии ростстимулирующих концентраций биорегулятора стифуна на растениях пшеницы выявлено увеличение функциональной активности ядрышек меристематических клеток, увеличение содержания лектина (агглютинина зародыша пшеницы), повышение активности протеиназ, ингибиторов трипсина и АТФазы. При применении биорегулятора возрастал пул свободных аминокислот, увеличивалось содержание цистеина, лизина, лейцина, тирозина и значительно – метионина и фенилаланина. Полученные результаты позволяют предполагать активацию стифуном биосинтеза белка в растениях пшеницы.

С целью повышения устойчивости растений к абиотическим стрессовым факторам и болезням, стимуляции роста, продуктивности и качества урожая в последние годы широкое распространение получили биорегуляторы на основе продуктов метаболизма микроорганизмов и/или растений, содержащие органические (аминокислоты, витамины, фитогормоны) и минеральные вещества. Они характеризуются полифункциональным действием на сельскохозяйственные культуры, отсутствием негативного влияния на окружающую среду, высокой экономической эффективностью [1]. К таким препаратам относятся никфан, симбионта, эми-стим, агропон (продукты метаболизма грибов эндофитов облепихи, женьшеня, *Acremonium lichenicola*, микромицета *Cylindrocarpon magnusianum* соответственно) [2], силк, новосил, растстим, срезар, лариксин (растительные метаболиты хвойных) [3, 4], ПТМБ (продукты термофильного метанового брожения) [5] и др.

Перспективным биорегулятором, стимулирующим рост и увеличивающим продуктивность растений пшеницы, ячменя, озимой ржи, гороха [6–10], риса [11], картофеля [12], повышающим их устойчивость к стрессам и болезням, является стифун – лиофилизат экстракта озимой ржи [6]. Стифун не оказывает общетоксического действия на организм млекопитающих, не обладает сенсibiliзирующими свойствами при естественном пути поступления в организм, не влияет на формирование клеточного и гуморального иммунитета [13]. На растениях пшеницы установлено, что стифун повышал энергию прорастания и всхожесть семян, способствовал интенсивному корнеобразованию и росту надзем-

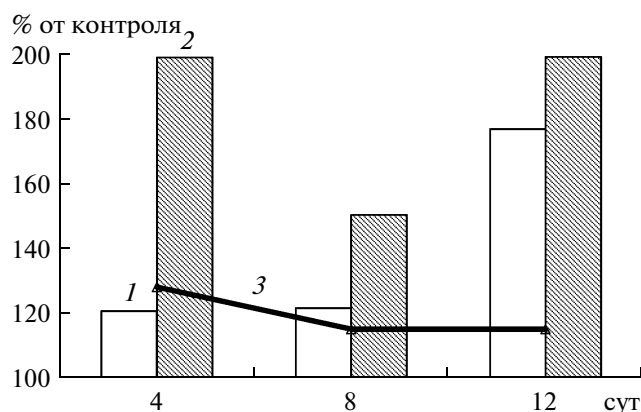
ной части, увеличению общей и продуктивной кустистости, озерненности колоса и массы 1000 семян [7, 8]. Наряду с увеличением урожайности зерна на 18–27% при его применении отмечалось увеличение содержания белка и клейковины.

Цель работы – оценка влияния препарата стифун на метаболические процессы у растений яровой пшеницы.

### МЕТОДИКА

Опыты проводились на мягкой яровой пшенице (*Triticum aestivum* L.) сорта Жница. Препаративную форму стифуна (водорастворимый порошок) получали по ранее описанной методике [6]. В экспериментах использовали водные растворы стифуна в концентрациях 3.3, 33 и 330 мг/л. Семена растений перед посевом стерилизовали в 70%-ном этаноле. В работе использовались различные способы применения стифуна: обработка семян или проростков в течение 20 и 60 мин соответственно и проведение биохимических анализов через 4, 8, 12 сут или 3, 24, 48 ч; проращивание семян в чашках Петри на фильтровальной бумаге, увлажненной раствором биорегулятора в течение 48 ч при 24°C; выращивание растений в стеклянных стаканах с раствором биорегулятора в течение 14 сут на плотиках из пробкового материала с отверстиями (диаметр 4 мм), на которые размещали предварительно пророщенные в течение 24 ч в термостате при 24°C семена, а также из семян, обработанных биорегулятором, на перлите в течение 9 сут.

Морфометрические параметры ядрышек в ядрах интерфазных меристематических клеток оценива-



Влияние стифуна (33 мг/л) на биомассу растений пшеницы и содержание лектина (АЗП): 1 – АЗП в побегах, 2 – АЗП в корнях, 3 – масса 1 растения.

ли с использованием микроскопа Amplival (“Carl Zeiss”, Германия) после окрашивания азотнокислым серебром [14]. Хроматографическое разделение и количественное определение аминокислот проводили на аминокислотном анализаторе “Hitachi 835” (Япония). Локализацию и активность  $Mg^{2+}$ -активируемой АТФазы (КФ 3.6.1.3) в растительных клетках оценивали по методу Вахштейна и Майзеля [15]. Содержание агглютинина зародыша пшеницы (АЗП) определяли методом непрямого конкурентного иммуноферментного анализа (ИФА) [16].

Растворимые белки экстрагировали 0.05 М трис-НСI-буфером, рН 8.2, с 0.02 М  $CaCl_2$ . Экстракты центрифугировали при 3500 г, 10 мин (MPV-310, “МЕХАНИКА”, Польша).

Активность протеиназ и ингибиторов трипсина определяли по гидролизу синтетического субстрата N, $\alpha$ -бензоил-DL-аргинин-4-нитроанили-

да (БАПНА) [17]. Активность ферментов выражали в относительных единицах (Е), активность ингибиторов – в ингибиторных единицах (ИЕ). За единицу активности фермента принимали такую активность, при которой в стандартных условиях за 1 мин образовывалось 1 мМ п-нитроанилида. ИЕ в стандартных условиях ингибирует 1 единицу (Е) активности трипсина при гидролизе БАПНА или желатины.

Опыты проводились в 3–4 повторностях и воспроизводились не менее 3 раз. В одной биологической повторности использовали не менее 10 растений. При проведении биохимических анализов использовали 4–7 повторностей. Цитохимические эксперименты включали оценку не менее 3000 клеток на каждый вариант опыта. Статистическую значимость между вариантами оценивали с помощью *t*-критерия Стьюдента при доверительной вероятности 0.95.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты, представленные в табл. 1, свидетельствуют о том, что стифун стимулировал рост растений пшеницы. Увеличение сухой массы корней и побегов предполагает возможность активации стифуном биосинтетических процессов. В ядрах меристематических клеток этих органов увеличивались количество и объем ядрышек, что может свидетельствовать о повышении их функциональной активности. Ранее обсуждалась связь между суммарным объемом ядрышек и метаболической активностью клеток и было показано, что регуляторы роста растений фузикоцин, эмистим, гексахлорат, кинетин могли увеличивать синтез рРНК в клетках меристем [18, 19]. Известно, что размер ядрышка отражает интенсивность метаболических процессов в клетке [20], чем крупнее ядрышко, тем интенсивнее в нем происходит синтез рРНК и, соответственно, выше интенсивность синтеза белка [21].

**Таблица 1.** Влияние стифуна на линейные размеры, массу, ядрышковые параметры меристематических клеток корней (в знаменателе) и побегов (в числителе) у 48 ч проростков пшеницы

Концентрация стифуна, мг/л	Длина, мм	Сухая масса, мг	Число ядрышек	Объем ядрышек, мкм <sup>3</sup>
0 (контроль)	$5.70 \pm 0.17$	$0.41 \pm 0.01$	$1.46 \pm 0.07$	$2.10 \pm 0.11$
	$13.60 \pm 0.41$	$1.20 \pm 0.04$	$2.40 \pm 0.16$	$3.70 \pm 0.25$
3.3	$7.40 \pm 0.33^*$	$0.58 \pm 0.03^*$	$2.10 \pm 0.08^*$	$2.90 \pm 0.14^*$
	$15.70 \pm 0.71^*$	$1.40 \pm 0.06^*$	$2.76 \pm 0.20^*$	$4.60 \pm 0.32^*$
33	$6.30 \pm 0.28^*$	$0.56 \pm 0.28^*$	$2.30 \pm 0.10^*$	$3.00 \pm 0.18^*$
	$15.30 \pm 0.69^*$	$1.30 \pm 0.06$	$2.50 \pm 0.18$	$4.50 \pm 0.30^*$
330	$6.20 \pm 0.25$	$0.55 \pm 0.02$	$2.55 \pm 0.14^*$	$3.20 \pm 0.19^*$
	$14.70 \pm 0.59$	$1.30 \pm 0.05$	$2.50 \pm 0.19$	$4.50 \pm 0.31^*$

\* Различия по сравнению с контролем значимы при  $p < 0.05$ .

**Таблица 2.** Влияние стифуна (3.3 мг/л) на концентрацию свободных аминокислот в корнях и надземной части 14-суточных растений пшеницы

Аминокислота	Концентрация, мг/100 мг сухого вещества			
	корни		надземная часть	
	контроль	стифун	контроль	стифун
Асп	0.208 ± 0.019	0.080 ± 0.007	0.545 ± 0.044	0.974 ± 0.088
Тре	0.051 ± 0.004	0.021 ± 0.002	0.176 ± 0.016	0.127 ± 0.013
Сер	0.031 ± 0.002	0.019 ± 0.003	0.066 ± 0.007	0.077 ± 0.009
Глу	0.112 ± 0.013	0.092 ± 0.011	0.101 ± 0.012	0.106 ± 0.010
Про	0.044 ± 0.004	0.020 ± 0.002	0.077 ± 0.007	0.127 ± 0.011
Гли	0.030 ± 0.003	0.016 ± 0.001	0.027 ± 0.004	0.040 ± 0.004
Ала	0.082 ± 0.009	0.037 ± 0.003	0.096 ± 0.012	0.241 ± 0.022
Цис	0.026 ± 0.004	0.043 ± 0.006	0.037 ± 0.003	0.087 ± 0.010
Вал	0.122 ± 0.015	0.054 ± 0.008	0.195 ± 0.020	0.284 ± 0.028
Мет	0.003 ± 0.001	0.021 ± 0.002	0.018 ± 0.002	0.047 ± 0.004
Иле	0.087 ± 0.010	0.029 ± 0.003	0.108 ± 0.013	0.167 ± 0.017
Лей	0.069 ± 0.011	0.041 ± 0.004	0.056 ± 0.007	0.188 ± 0.017
Тир	0.066 ± 0.009	0.101 ± 0.012	0.123 ± 0.010	0.246 ± 0.025
Фен	0.050 ± 0.005	0.097 ± 0.008	0.114 ± 0.008	0.609 ± 0.055
Лиз	0.062 ± 0.008	0.138 ± 0.012	0.110 ± 0.010	0.268 ± 0.032
Гис	0.028 ± 0.003	0.018 ± 0.002	0.069 ± 0.008	0.081 ± 0.009
Арг	0.030 ± 0.003	0.020 ± 0.002	0.065 ± 0.007	0.043 ± 0.005
Сумма	1.10 ± 0.09	0.85 ± 0.09	1.98 ± 0.22	3.71 ± 0.45

Структурными единицами вновь синтезируемых белков и регуляторами многих биохимических процессов в растениях являются свободные аминокислоты, которые также участвуют в биосинтезе разнообразных вторичных соединений. Применение стифуна увеличивало пул свободных протеиногенных аминокислот у растений пшеницы на 48% по сравнению с контролем (табл. 2). Суммарное содержание аминокислот увеличивалось в надземной части растений на 87%, а в корнях — уменьшалось на 23%. Из 17 исследованных аминокислот для 5 (лизин, метионин, тирозин, фенилаланин, цистеин) показано возрастание их уровня и в корнях, и в надземной части, для 9 (аланин, аспарагиновая кислота, валин, гистидин, глицин, изолейцин, лейцин, пролин, серин) — увеличение в надземной части и уменьшение в корнях, для аргинина и треонина — снижение и в корнях, и в листьях, а для глутаминовой кислоты — уменьшение в корнях.

В контрольных растениях доминировала аспарагиновая кислота. В корнях в значительном количестве присутствовали валин и глутаминовая кислота. При действии стифуна в надземной части растений наиболее представленными аминокислотами были аспарагиновая кислота, лизин и незаряженные гидрофобные аминокислоты (фенил-

аланин, тирозин, валин, аланин), а в корнях — тирозин и лизин (табл. 2). Следует отметить, что глутамат и аспартат играют важную роль в реакциях переаминирования с образованием различных аминокислот, в том числе лизина, фенилаланина, метионина. В наших экспериментах уровень метионина в контроле был наименьшим из всех исследованных аминокислот и значительно возрастал при действии стифуна. Известно, что в процессе синтеза белка метионин, помимо участия в построении полипептида, выполняет и особую роль в инициации трансляции мРНК [22]. В растениях через его производное — S-аденозилметионин осуществляется контроль уровня таких метаболитов, как этилен, полиамины, биотин и регуляция процессов клеточного деления, синтеза клеточной стенки, хлорофилла и др. [22].

Следует отметить, что в данном опыте при действии стифуна линейные размеры растений увеличивались с 30.3 в контроле до 33.2 см в варианте с биорегулятором, биомасса — с 17.1 до 20.0 мг соответственно. Увеличение уровня метионина при действии стифуна, по-видимому, свидетельствует об активации метаболических процессов. Ранее исследователями уже была выявлена положительная корреляция между количеством в растениях метионина и лизина, а повышенный уровень лизина способ-

**Таблица 3.** Активность протеиназ (мЕ/г сырой массы) и ингибиторов трипсина (мИЕ/г сырой массы) у проростков пшеницы при действии стифуна (33 мг/л)

Вариант	3 ч		24 ч		48 ч	
	корни	побеги	корни	побеги	корни	побеги
Протеиназы, мЕ/г сырой массы						
Контроль	87.6 ± 5.0	150.7 ± 9.2	91.0 ± 6.2	167.7 ± 8.2	134.4 ± 7.6	134.8 ± 7.4
Стифун	120.9 ± 7.2*	281.1 ± 12.6*	180.0 ± 5.7*	232.4 ± 15.7*	186.9 ± 14.3*	158.0 ± 10.7
Ингибиторы трипсина, мИЕ/г сырой массы						
Контроль	291.4 ± 16.2	306.4 ± 9.0	235.7 ± 18.7	270.1 ± 16.9	308.7 ± 15.0	242.9 ± 18.7
Стифун	354.6 ± 16.4*	382.2 ± 17.7*	331.3 ± 15.1*	379.0 ± 31.2*	487.5 ± 24.8*	392.1 ± 35.4

\* Различия по сравнению с контролем значимы при  $p < 0.05$ .

ствовал увеличению синтеза метионина или уменьшал его катаболизм [22].

Фенилаланин является предшественником многих фенольных соединений, которые могут обладать антиоксидантными свойствами и участвуют в процессе лигнификации растительных клеток. Возрастание в растениях после применения стифуна (табл. 2) содержания тирозина и фенилаланина — аминокислот, являющихся у пшеницы предшественниками ксилана, могло быть связано с усилением процессов элонгации стебля в фазе кушения, как это было показано в опытах с применением молибдена [23]. Так, в полевых экспериментах применение стифуна приводило к увеличению длины, диаметра и толщины стенок междоузлий растений пшеницы [7].

Повышение уровня свободных аминокислот, активация их синтеза при применении физиологически активных веществ обсуждаются в литературе в связи с устойчивостью растений к стрессовым факторам. Так, повышение эпибрассинолидом засухоустойчивости растений было обусловлено увеличением уровня свободных аминокислот, участвующих в осморегуляции [24]. Активация синтеза аминокислот у озимой пшеницы при использовании молибдена могла способствовать повышению устойчивости растений к холоду [23]. Результаты, полученные при изучении влияния стифуна на содержание свободных аминокислот, позволяют предположить возможность активации данным биорегулятором неспецифических защитных реакций растений, которые могут рассматриваться в качестве факторов преадаптации к неблагоприятным воздействиям различной природы.

В процессах формирования устойчивости и роста растений важная роль, обусловленная как регуляторными, так и защитными функциями, принадлежит также протеолитическим ферментам и их ингибиторам [25, 26]. Так, при действии салициловой кислоты наблюдалось повышение активности протеиназ и ингибиторов трипсина [27]. Применение стифуна приводило к увеличению через 3, 24, 48 ч после обработки активности трипсиноподоб-

ных протеиназ и их ингибиторов как в побегах, так и в корнях пшеницы (табл. 3). Применение стифуна у 48 ч растений вызывало также увеличение линейных размеров и сухой массы (табл. 1).

Другой ответной реакцией растений на действие биотических и абиотических стрессовых факторов может являться увеличение содержания лектина [28, 29]. Обработка семян стифуном приводила к практически 2-кратному возрастанию уровня лектина—агглютинина зародыша пшеницы (АЗП) в корнях 4-суточных растений, при этом увеличивалась и биомасса проростков (рисунок). В побегах значительное повышение его содержания наблюдалось лишь к концу опыта (12 сут). Вероятно, различия в скорости ответа корней и побегов на воздействие биорегулятора связаны с тем, что корни являются местом преимущественного синтеза и локализации АЗП [30]. По мнению исследователей, увеличение содержания АЗП в растениях пшеницы под влиянием фитогормонов и элиситоров природного происхождения свидетельствует о вовлечении этого белка в формирование защитных реакций растительных клеток [29, 31–33]. Как нами было показано ранее, применение стифуна приводило к снижению распространенности и степени развития ряда возбудителей болезней пшеницы [8]. Также стифун предотвращал негативное действие засоления, гипертермии, водного дефицита на рост и продуктивность растений.

Характер изменений содержания свободных аминокислот при применении стифуна (табл. 2) может свидетельствовать о том, что данный биорегулятор воздействует на уровень и перераспределение отдельных метаболитов в растениях. Согласно литературным данным стифун влиял на распределение ассимилятов в растениях, повышая аттрагирующую способность оплодотворенных завязей, увеличивая при оптимальных условиях минерального питания отложение запасных веществ в классе выполненных семян [11].

Важная роль в транспорте органических веществ принадлежит мембранным АТФазам. Обсуждается транспортная функция  $Mg^{2+}$ -АТФазы,

**Таблица 4.** Распределение АТФазной активности на поперечных срезах корней 9-суточных растений пшеницы при действии стифуна (33 мг/л)

Структура корня	Интенсивность окрашивания, усл. ед.*	
	контроль	стифун
Первичная кора	++++	+++++
Перицикл	++	++++
Межклетники в коре	+++	+++++
Межклетники перицикла	+	+++++

\* Интенсивность реакции выражена в условных единицах “+” (у. е.), отражающих степень активности АТФазы.

которая может быть вовлечена в регулирование активности зародыша посредством воздействия на транспорт растворов от корней и (или) листьев [34]. По данным исследователей АТФазная активность обнаруживалась на плазматической мембране, интенсивная реакция происходила в транспортных клетках ксилемы с обеих сторон кольца ксилемы и элементов флоэмы [34]. Как показали наши результаты (табл. 4), в корнях пшеницы АТФаза (КФ 3.6.1.3) выявлялась в первичной коре, перицикле, межклетниках. При действии стифуна наблюдалось значительное увеличение активности АТФазы во всех рассмотренных структурах корня. Механизм ростстимулирующего действия таких регуляторов роста растений как фузикококцина, ауксина, гуминовые кислоты может быть сопряжен с АТФазной активностью как в результате ее активации, так и с синтезом ее *de novo* [35]. Совокупность имеющихся данных позволяет предполагать активацию также стифуном поглотительной и транспортной способности корня.

Таким образом, результаты исследований могут указывать на стимуляцию стифуном метаболических процессов у растений пшеницы. Совокупность экспериментальных данных позволяет предположить активацию белкового биосинтеза при действии стифуна, о чем может свидетельствовать увеличение функциональной активности ядрышек и отдельных белков, сопряженность активации протеиназно-ингибиторной системы и увеличения пула свободных аминокислот с интенсификацией ростовых процессов. Выявленное возрастание активности АТФазы, обладающей транспортной функцией, может указывать на активацию транспорта ассимилятов при действии стифуна. Из полученных нами данных также следует, что стифун влиял на биохимические процессы растений, специфичность изменения которых при действии различных индукторов устойчивости, как показано в ряде исследований, свидетельствовала об их участии в регуляции устойчивости к абиотическим и биотическим стрессовым факторам. В связи с этим можно предположить, что стифун является регулятором неспецифической устойчивости растений. Наши следующие исследования будут посвящены

изучению механизмов антистрессового действия стифуна при неблагоприятных воздействиях различной природы.

Выражаем благодарность Ф.М. Шакировой и М.В. Безруковой за методическую помощь при проведении иммуноферментного анализа.

Исследования поддержаны грантами “Программы поддержки ведущих научных школ Российской Федерации” (НШ-2217.2003.4), Российского фонда фундаментальных исследований (02-04-97917), целевым грантом Министерства промышленности, науки и технологий РФ (2003), “Фонда содействия отечественной науки”.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прусакова Л.Д., Малеванная Н.Н., Белопухов С.Л., Вакуленко В.В. // *Агрохимия*. 2005. № 11. С. 76–86.
2. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. М. 2010. 801 с.
3. Ралдугин В.А. // *Рос. хим. журн. общества им. Д.И. Менделеева*. 2004. Т. 48. № 3. С. 84–88.
4. Евтушенко Е.В., Сапрыкин В.А., Галицын М.Ю., Чекуров В.М. // *Прикл. биохимия и микробиология*. 2008. Т. 44. № 1. С. 123–128.
5. Драгозов И.В., Коць С.Я., Чехун Т.И., Яворская В.К., Волкогон Н.В. // *Физиология растений*. 2002. Т. 49. № 6. С. 925–930.
6. Яхин И.А., Вахитов В.А., Исаев Р.Ф., Яхин О.И. Патент РФ. 1997. № 2076603.
7. Яхин И.А., Яхин О.И., Исаев Р.Ф. // *Докл. РАСХН*. 1999. № 6. С. 8–10.
8. Яхин И.А., Яхин О.И., Вакуленко В.В. // *Защита и карантин растений*. 2000. № 4. С. 19.
9. Яхин И.А., Яхин О.И., Вакуленко В.В. // *Защита и карантин растений*. 2001. № 1. С. 47.
10. Яхин И.А., Яхин О.И. // *Защита и карантин растений*. 2002. № 12. С. 31.
11. Карпов Е.А., Гладун И.В., Белозерова О.Л., Баркалова О.И. // *Агрохимия*. 1997. № 11. С. 61–64.
12. Яхин И.А., Яхин О.И. // *Земледелие*. 2001. № 5. С. 41.
13. Онацкий Н.М., Яхин И.А., Рыбалкин С.П., Михина Л.В., Яхин О.И., Ибатуллина Р.Б. // *Токсикологический вестник*. 2001. № 5. С. 20–24.

14. Bloom S.E., Goodpasture C. // Human. Genet. 1976. V. 34. P. 199–206.
15. Wachstein M, Meisel E. // J. Amer. Clin. Pathol. 1957. V. 27. № 1. P. 13–23.
16. Хайруллин Р.М., Шакирова Ф.М., Безрукова М.В., Ямалеев А.М. // Прикл. биохимия и микробиология. 1992. Т. 28. № 3. С. 468–474.
17. Erlanger B.P., Kokowski S., Cohen M. // Arch. Biochem. Biophys. 1961. V. 95. № 2. P. 271–278.
18. Арапатьян Л.А. Цитогенетические эффекты фитогормонов. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1989. 138 с.
19. Клицов С.В., Артемьева Г.М., Лазарева Е.М., Муромцев Г.С. // Генетика. 2000. Т. 36. № 8. С. 1071–1080.
20. Liu D., Jiang W., Gao X. // Biologia Plantarum. 2003/4. V. 41. № 1. P. 79–83.
21. Соболев М.А. // Цитология и генетика. 2001. № 3. С. 72–84.
22. Amir R. // Amino acids. 2010. V. 39. № 4. P. 917–931.
23. Hu C., Wang Y., Wei W. // J. Plant Nutr. 2002. V. 25. № 7. P. 1487–1499.
24. Пустовойтова Т.Н., Жданова Н.Е., Жолкевич В.Н. // Докл. РАН. 2001. Т. 376. № 5. С. 697–700.
25. Мосолов В.В., Григорьева Л.И., Валуева Т.А. // Прикл. биохимия и микробиология. 2001. Т. 37. № 2. С. 131–140.
26. Schaller A. // Planta. 2004. V. 220. P. 183–197.
27. Адамовская В.Г., Клечковская Е.А., Молодченкова О.О., Вовчук С.В. // Физиология растений. 2000. Т. 47. № 2. С. 210–215.
28. Peumans W.J., Van Damme E.J.M. // Plant Physiol. 1995. V. 109. № 2. P. 347–352.
29. Бабоша А.В. // Биохимия. 2008. Т. 73. № 7. С. 1007–1022.
30. Raikhel N.V., Mishkind M.L., Palevitz B.A. // Planta. 1984. V. 162. № 1. P. 55–61.
31. Cammue B.P.A., Broekaert W.F., Kellens J.T.C., Raikhel N.V., Peumans W.J. // Plant Physiol. 1989. V. 91. № 4. P. 1432–1435.
32. Shakirova F.M., Avalbaev A.M., Bezrukova M.V., Gimalov F.R. // Plant Growth Regulation. 2001. V. 33. P. 111–115.
33. Безрукова М.В., Авальбаев А.М., Кильдибекова А.Р., Фатхутдинова Р.А., Шакирова Ф.М. // Докл. РАН. 2002. Т. 387. № 2. С. 276–278.
34. Sossountzov L., Habricot Y. // Protoplasma. 1985. V. 127. P. 180–191.
35. Canellas L.P., Olivares F.L., Okorokova-Façanha A.L., Façanha A.R. // Plant Physiol. 2002. V. 130. P. 1–7.

## Metabolic Changes in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Plants under Action of Bioregulator Stifun

O. I. Yakhin<sup>a</sup>, A. A. Lubyantsev<sup>a, b</sup>, I. A. Yakhin<sup>a</sup>, V. A. Vakhitov<sup>a</sup>, R. I. Ibragimov<sup>c</sup>,  
M. S. Yumaguzhin<sup>a, c</sup>, and Z. F. Kalimullina<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Institute of Biochemistry and Genetics, Ufa Science Center, Russian Academy of Sciences, Ufa 450054  
e-mail: yakhin@anrb.ru

<sup>b</sup> Ufa Branch of Orenburg State University, Ufa, 450054

<sup>c</sup> Bashkir State University, Ufa, 450007

Received February 1, 2011

**Abstract**—Under action of growth-stimulating concentrations of bioregulator stifun on wheat plants, an increase of functional activity of nucleoli of meristematic cells; contents of lectin (wheat germ agglutinin); and activity of proteinases, trypsin inhibitors, and ATPase activity was established. The pool of free amino acids was increased under bioregulator use. Levels of methionine, phenylalanine, cysteine, lysine, and tyrosine were increased. It is likely that stifun could activate protein biosynthesis in wheat plants.