

УДК 633.16:(631.559:633.1.004.12)

ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ, УРОЖАЙНОСТЬ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА ЯЧМЕНЯ, ОБРАБОТАННОГО
ЭКСТРАКТАМИ *REYNOUTRIA SACHALINENSIS*

Л.Э. ГУНАР, А.Г. МЯКИНЬКОВ, С. А. ГЛАЗУНОВА*, В. А. КАРАВАЕВ*

(Кафедра хранения, переработки и товароведения продукции
растениеводства)

В полевых опытах 2005-2007 гг. установлено стимулирующее действие экстрактов горца сахалинского *Reynoutria sachalinensis* на фотосинтетический аппарат растений ячменя. Усиление фотосинтетической активности растений приводило к повышению продуктивности ячменя. Установлено положительное воздействие экстрактов горца сахалинского на технологические и пивоваренные качества зерна.

Ключевые слова: растительные экстракты, ячмень, фотосинтетическая активность, продуктивность, качество урожая.

Растительные экстракты выгодно отличаются от химических средств защиты растений большей экологической безопасностью и меньшими затратами на их изготовление. Механизм защитного действия этих экстрактов до конца не изучен. Предполагается, что они, с одной стороны, оказывают токсическое воздействие непосредственно на патоген [4, 9, 11], а с другой — стимулируют защитные реакции растения-хозяина [12].

Ранее было показано, что водный экстракт горца сахалинского *Reynoutria sachalinensis* и препарат Mil-sana, приготовленный на основе этого растительного сырья, эффективно защищают с.-х. культуры от фитопатогенных грибов [6, 10]. Механизм действия экстрактов *R. sachalinensis* предположительно связан с усилением естественных защитных реакций растений на заражение (индуцирован-

ная устойчивость) [12]. Обработка растений препаратами приводила к повышению активности таких ферментов, как пероксидаза, полифенолоксидаза и хитиназа [6], а после заражения в листьях обработанных растений резко возрастало содержание фитоалексинов [5]. С помощью люминесцентных методов исследования было показано, что водные экстракты из листьев горца стимулируют фотосинтетическую активность растений огурца [8]. Вместе с тем, действие препаратов на основе *R. sachalinensis* на общее физиологическое состояние растений и в конечном итоге на урожайность зерновых культур не изучено.

В данной работе исследовано стимулирующее действие экстрактов горца сахалинского *Reynoutria sachalinensis* на фотосинтетическую активность, рост и развитие растений, а также на урожайность ячменя и элементы ее

* Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет.

структуры в ходе 3-летних (2005-2007) полевых испытаний. Функциональную активность фотосинтетического аппарата оценивали с помощью люминесцентного метода, основанного на регистрации медленной индукции флуоресценции (МИФ) листьев растений. МИФ представляет собой индукционные изменения флуоресценции хлорофилла при освещении листьев, адаптированных к темноте, светом средней интенсивности. Возможность применения метода МИФ при изучении физиологического состояния растений обоснована в работе [1].

Методика

Полевые опыты с ячменем сорта Михайловский проводили в 2005-2007 гг. в сопоставимых условиях выращивания на базе лаборатории растениеводства РГАУ — МСХА имени К.А. Тимирязева по общепринятой агротехнике возделывания. Повторность опыта 4-кратная, учетная площадь делянки 5 м². Растения опрыскивали препаратами *R. sachalinensis* в фазу кущения, расход рабочего раствора составлял 100 мл/м².

В 2005 г. растения ячменя обрабатывали водным и спиртовым (препарат Milsana)* экстрактами *R. sachalinensis* один раз в фазу кущения; препарат Milsana применяли в двух концентрациях: 0,5% и 1%. В опыте 2006 г. проводили вторую обработку указанными препаратами через 7 сут после первой. В опыте 2007 г. препарат Milsana применяли в виде 0,5%-го раствора.

Водные экстракты получали из горца сахалинского, произрастающего в средней полосе России. Для приготовления водного экстракта листья горца высушивали и измельчали, а непосредственно перед обработкой растений заливали дистиллированной водой при 50°С, 100 мл воды на 1 г сухих листь-

ев. Суспензию перемешивали в течение 1 ч и фильтровали.

Для измерения флуоресценции выщетки из листьев ячменя помещали в держатель и адаптировали к темноте в течение 5 мин. Флуоресценцию возбуждали широкополосным синим светом интенсивностью 50 Вт/м², а регистрировали на длине волны 686 нм; характерная кривая МИФ злаковых растений приведена в работе [3]. В качестве параметра МИФ использовали отношение $(F_M - F_T)/F_T$, где F_M — интенсивность флуоресценции в максимуме индукционной кривой, F_T — стационарный уровень флуоресценции, достигаемый через 6-8 мин освещения. Ранее было показано [2, 7], что относительные изменения этого показателя соответствуют относительным изменениям фотосинтетической активности в расчете на хлорофилл.

Математическую обработку, структурный анализ урожайных данных и анализ качественных показателей проводили согласно ГОСТам. Максимальная абсолютная погрешность при измерении значений $(F_M - F_T)/F_T$ составляла ±0,03-0,04.

Результаты и их обсуждение

В полевом опыте 2005 г. максимальное (на 40%) увеличение параметра $(F_M - F_T)/F_T$ МИФ (повышение фотосинтетической активности) наблюдалось на 13-е сут после обработки растений ячменя препаратом Milsana (табл. 1). Применение водного экстракта *R. sachalinensis* также способствовало значительному (на 20%) повышению фотосинтетической активности. Стимулирующее действие обоих экстрактов не ослабевало в течение 20 сут после обработки, однако через 27 сут фотосинтетическая активность растений во всех вариантах была уже на уровне контроля. Препарат Milsana в

* Препарат предоставила д-р А. Шмидт (Институт биологического контроля, г. Дармштадт, Германия).

Таблица 1

Значения показателя $(F_M - F_T)/F_T$ медленной индукции флуоресценции листьев ячменя после обработки экстрактами *R. sachalinensis*. Полевой опыт 2005 г.

После обработки, сут	Контроль (H ₂ O), 100%	<i>R. sachalinensis</i> (водный экстракт)	Milsana 0,5%	Milsana 1%
1	0,66	0,60 (92%)	0,65 (98%)	0,58 (88%)
6	0,54	0,59 (109%)	0,57 (106%)	0,57 (106%)
13	0,45	0,54 (120%)	0,63 (140%)	0,51 (114%)
20	0,43	0,52 (121%)	0,51 (118%)	0,46 (107%)
27	0,41	0,41 (99%)	0,41 (100%)	0,40 (99%)

концентрации 1% оказывал меньшее влияние, чем в концентрации 0,5% (см. табл. 1).

Анализ урожайности также свидетельствует о положительном влиянии использовавшихся препаратов (табл. 2). Достоверная прибавка урожая была получена при применении 0,5%-го раствора препарата Milsana. Происходило это за счет увеличения продуктивной кустистости, а также массы зерна с главного колоса и растения. При этом по ряду важнейших характеристик наблюдалась тенденция к повышению качества зерна — снижению пленчатости и содержания белка (табл. 3, 4).

В полевом опыте 2006 г. наблюдались те же закономерности в изменении люминесцентных характеристик растений при обработке растительными экстрактами, что и в 2005 г. По данным измерений, проводившихся на 2-й день после второй обработки, увеличение параметра $(F_M - F_T)/F_T$ МИФ обнаружено у растений, обработанных водным экстрактом *R. sachalinensis* (на 19%) и 0,5%-м раствором Milsana (на 14%) (табл. 5). Максимальное увеличение данного параметра (на 17-28 %) наблюдалось у всех обработанных растений на 11-й день после обработки. К 20-му дню значения $(F_M - F_T)/F_T$ у

Таблица 2

Показатели структуры урожая ячменя при его обработке экстрактами *R. sachalinensis*. Полевой опыт 2005 г.

Показатель	Контроль (H ₂ O)	<i>R. sachalinensis</i> (водный экстракт)	Milsana 0,5%	Milsana 1%	HCP _{0,05}
Высота растений, см	59,5	59,5	61,8	60,8	1,9
Продуктивная кустистость, шт.	1,33	1,67	1,76	1,80	0,30
Масса зерна с главного колоса, г	0,68	0,69	0,72	0,61	0,16
Масса зерна с растения, г	0,91	1,16	1,28	1,09	0,30
Урожайность, т/га	5,48	5,75	6,78	5,75	0,9

Таблица 3

Технологические свойства зерна ячменя, обработанного экстрактами *R. sachalinensis*. Полевой опыт 2005 г.

Вариант	Пленчатость, %	Выравненность, %			Отход, %	Натура, г/п
		2,8 мм	2,5 мм	2,2 мм		
Контроль	9,8	68	22	8	1	690,8
<i>R. sachalinensis</i> (водный экстракт)	9,4	74	19	6	1	678,4
Milsana 0,5%	9,2	69	23	7	1	687,3
Milsana 1%	9,4	70	22	7	1	694,0
HCP _{0,05}	0,3	Н/д	Н/д	Н/д	—	8,5

Таблица 4

Пивоваренные свойства зерна ячменя, обработанного экстрактами *R. sachalinensis*.
Полевой опыт 2005 г.

Вариант	Крупность, %	Прорастаемость, %		Белок, %	Крах- мал, %	Экстрактив- ность, %
		на 3-е сут	на 5-е сут			
Контроль	99	99,4	99,4	11,0	61,5	78,8
<i>R. sachalinensis</i> (водный экстракт)	99	97,8	98,0	10,6	61,8	79,6
Milsana 0,5%	99	97,8	97,8	10,7	61,7	78,8
Milsana 1%	99	98,4	98,6	11,2	60,8	78,3
HCP _{0,05}	Н/д	Н/д	Н/д	0,2	0,1	Н/д

Таблица 5

Значения показателя $(F_M - F_T)/F_T$ медленной индукции флуоресценции листьев ячменя
после обработки экстрактами *R. sachalinensis*. Полевой опыт 2006 г.

После обработки, сут	Контроль (H ₂ O), 100%	<i>R. sachalinensis</i> (водный экстракт)	Milsana 0,5%	Milsana 1%
2	0,48	0,57 (119%)	0,55 (114%)	0,47 (98%)
11	0,35	0,43 (123%)	0,41 (117%)	0,39 (112%)
20	0,25	0,26 (104%)	0,27 (108%)	0,26 (104%)

всех обработанных растений практически выровнялись по сравнению с контролем.

При анализе урожайности (табл. 6), как и в опыте 2005 г., была установлена положительная корреляция между фотосинтетической активностью в решающие фазы роста и развития растений ячменя и процессом формирования его урожайности. Достоверная прибавка урожая наблюдалась при применении водного экстракта и 0,5%-го раствора препарата Milsana. Повышение урожайности сопровождалось улучшением показателя ее структуры: числа и массы зерен с колоса, общей и продуктивной кустистости (при обработке 0,5%-м раствором препарата Milsana).

В опыте 2007 г. препарат Milsana в виде 0,5%-го раствора также стимулировал фотосинтетическую активность растений (наблюдалось увеличение значений $(F_M - F_T)/F_T$ МИФ), этот эффект сохранялся в течение трех недель после обработки. Наибольший стимулирующий эффект был зарегистрирован через 14 сут после обработки (табл. 7). Повышение фотосинтетической активности сопровождалось увеличением урожайности ячменя на 0,73 т/га по сравнению с контролем. При этом наблюдалось увеличение числа зерен с растения, а также массы зерна с растения и колоса (табл. 8).

Таким образом, в 3-летних полевых опытах была выявлена высокая эффек-

Таблица 6

Показатели структуры урожая ячменя при его обработке экстрактами *R. sachalinensis*.
Полевой опыт 2006 г.

Показатель	Контроль (H ₂ O)	<i>R. sachalinensis</i> (водный экстракт)	Milsana 0,5%	Milsana 1%	HCP _{0,05}
Общая кустистость, шт.	1,30	1,57	1,63	1,53	0,32
Продуктивная кустистость, шт.	1,23	1,30	1,45	1,40	0,11
Число зерен с колоса	14,8	15,9	16,0	15,7	1,1
Масса зерна с колоса, г	0,67	0,75	0,75	0,72	0,07
Урожайность, т/га	3,16	3,62	3,48	3,32	0,2

Т а б л и ц а 7

Значения показателя $(F_M - F_T)/F_T$ медленной индукции флуоресценции листьев ячменя после обработки препаратом Milsana. Полевой опыт 2007 г.

После обработки, сут	Контроль (H ₂ O), 100%	Milsana 0,5%
2	0,50	0,55 (110%)
7	0,53	0,64 (120%)
14	0,49	0,64 (130%)
21	0,47	0,57 (121%)
28	0,46	0,47 (102%)

тивность экстрактов горца сахалинского *Reynoutria sachalinensis*, применяемых в качестве ростстимулирующих веществ. Методом медленной индукции флуоресценции установлено их стимулирующее действие на фотосинтетический аппарат растений. Во все годы были получены достоверные прибавки урожая ячменя, сопровождавшиеся улучшением элементов структуры урожайности. При этом не наблюдалось ухудшения технологических и пивоваренных свойств ячменя.

Т а б л и ц а 8

Показатели структуры урожая ячменя при его обработке препаратом Milsana. Полевой опыт 2007 г.

Показатель	Контроль (H ₂ O)	Milsana 0,5%	HCP _{0,05}
Общая кустистость, шт.	1,57	1,63	0,46
Продуктивная кустистость, шт.	1,32	1,52	0,24
Число зерен в колосе	11,2	12,7	1,6
Масса зерна с колоса, г	0,47	0,56	0,07
Число зерен с растения	9,5	12,0	2,0
Масса зерна с растения, г	0,78	0,88	0,06
Урожайность, т/га	3,38	4,84	1,35

Библиографический список

1. *Караваяев В.А.* Нелинейные регуляторные процессы в фотосинтезе высших растений. Автореф. докт. дисс. М.: МГУ, 1990.
2. *Караваяев В.А., Баулин А.М., Гордиенко Т.В. и др.* Изменения фотосинтетического аппарата листьев бобов в зависимости от содержания тяжелых металлов в среде выращивания // Физиология растений, 2001. Т. 48. С. 47-54.
3. *Полякова И.Б., Караваяев В.А., Солнцев М.К., Чечулина А.А.* Люминесцентные показатели в разных участках листа пшеницы в онтогенезе // Биофизика, 2003. Т. 48. С. 1108-1115.
4. *Blaeser P., Steiner U.* Antifungal activity of plant extracts against potato late blight // In: Modern fungicides and antifungal compounds II / Ed. by H. Lyr, P.E. Russel, H.-W. Dehne, and H.D. Sisler. Andover: Intercept, 1999. P. 491-499.
5. *Daayf F., Schmitt A., Belanger R.R.* Evidence of phytoalexins in cucumber leaves infected with powdery mildew following treatment with leaf extracts of *Reynoutria sachalinensis* // Plant Physiol., 1997. V. 113. P. 719-727.
6. *Herger G., Klingauf F.* Control of powdery mildew fungi with extracts of the giant knotweed, *Reynoutria sachalinensis* (Polygonaceae) // Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent, 1990. V. 55. P. 1007-1014.
7. *Karavaev V.A., Polyakova I.B., Solntsev M.K., Yurina T.P.* Effect of various chemical agents on photosynthesis studied by the method of fluorescence induction // Journal of Luminescence, 1998. V. 76, 77. P. 335-338.
8. *Karavaev V.A., Schmitt A., Solntsev M.K. et al.* Fluorescent characteristics of cucumber leaves treated with an aqueous extract from *Reynoutria sachalinensis*

// In: Modern fungicides and antifungal compounds IV / Ed. by H.-W. Kehne, U. Gisi, K.H. Kuck, P.E. Russel, H. Lyr / Alton: BCPC, 2005. P. 281-286.

9. Karavaev V.A., Solntsev M.K., Kuznetsov A.M. et al. Plant extracts as the source of physiologically active compounds suppressing the development of pathogenic fungi / Plant Protection Science, 2002. V. 38. P. 200-204.

10. Malathrakis N.E., Markellou E., Fanouraki M.N. et al. Efficacy of Milsana®, a formulated plant extract from *Reynoutria sachalinensis*, against powdery mildew of tomato (*Leveillula taurica*) // IkBC Bulletin, 2002. V. 25. P. 175-178.

11. Pan R., Huang G., Zhang H. et al. Antifungal activities in extracts of *Merremia boisiiana* // In: Modern fungicides and antifungal compounds V / Ed. by H.-W. Kehne, H.B. Keising, U. Gisi, K.H. Kuck, P.E. Russel, and H. Lyr / Braunschweig: KPG Selbstverlag, 2008. P. 289-292.

12. Seddon B., Schmitt A. Integrated biological control of fungal plant pathogens using natural products // In: Modern fungicides and antifungal compounds II / Ed. by H. Lyr, P.E. Russel, H.-W. Kehne, and H.K. Sisler. Andover: Intercept, 1999. P. 423-428.

Рецензент — д. б. н. ВВ. Пыльнев

SUMMARY

Kuring field tests in 2005-2007 stimulatory effect of Sakhalin polygonum (*Reynoutria sachalinensis*) extracts on photosynthetic apparatus of barley was established. Plant photosynthetic activity increase resulted in raising the level of barley yield. Positive effect of Sakhalin polygonum (*Reynoutria sachalinensis*) extracts on both technological and brewing qualities of barley grain has been determined.

Key words: plant extracts, barley, photosynthetic activity, productivity, yield quality.