

АНАСТАСИЯ ВЛАДИМИРОВНА КРЫЖКО

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и экологии микроорганизмов, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма (Симферополь, Российская Федерация)
solanum@ukr.net

ЛЮДМИЛА НИКОЛАЕВНА КУЗНЕЦОВА

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии и экологии микроорганизмов, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма (Симферополь, Российская Федерация)
kuz_lydmila@mail.ru

ВЛИЯНИЕ БИОИНСЕКТИЦИДОВ НА ОСНОВЕ *BACILLUS THURINGIENSIS* НА КАЧЕСТВО КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

Исследовали влияние экспериментальных партий инсектицидов на основе энтомопатогенных штаммов *Bacillus thuringiensis* (BT) 994, 0371 и 787 на урожай картофеля сорта Явор, на содержание крахмала и размер крахмальных зерен, а также содержание растворимого сахара и белка в клубнях картофеля. Эффект BT на исследуемые показатели изучали в сравнении с химическим инсектицидом Калипсо. Биопрепараты и химический инсектицид применяли как средства защиты растений картофеля против колорадского жука. Экспериментальные партии препаратов разработаны на основе штаммов бактерий из коллекции бактериальных энтомопатогенов ГБУ РК НИИСХ Крыма. Штаммы BT 994 и BT 0371 продуцируют белковый δ -эндотоксин и термостабильный β -эндотоксин, штамм BT 787 – только белковый δ -эндотоксин. Действующим веществом Калипсо является неоникотиноид тиаклоприд. В качестве контроля служили растения картофеля, обработанные водой. Установлено, что биоинсектициды BT 0371, BT 994 и BT 787, внесенные в агробиоценоз картофеля сорта Явор, способствуют повышению урожая клубней на 92,9; 96,3 и 104,3 % соответственно, в то время как химический инсектицид Калипсо – на 60,0 %. Результатом внесения биоинсектицидов на растения, по сравнению с Калипсо, является и получение экологически безопасной продукции с минимальным негативным влиянием на содержание крахмала (снижение не более чем на 2,2 %), сахара (увеличение не более чем на 1,46 % на сухое вещество) и белка (увеличение в среднем на 42,9 %), а также на размер крахмальных зерен в клубнях. Таким образом, применение биоинсектицидов на основе штаммов энтомопатогенных бактерий *B. thuringiensis* 994, 0371 и 787 в биоценозе картофеля, в отличие от химического инсектицида Калипсо, позволяет получать экологически безопасную продукцию картофелеводства с минимальным негативным воздействием на содержание крахмала, сахара и белка в клубнях.

Ключевые слова: биоинсектициды, *Bacillus thuringiensis*, картофель, урожай, качество клубней

ВВЕДЕНИЕ

Картофель традиционно является одним из основных продуктов питания, поэтому технологии его выращивания должны быть направлены, прежде всего, на получение экологически безопасной продукции. Качество клубней зависит от целого ряда показателей, среди которых значительное место занимают углеводы. С содержанием и преобразованием углеводов связаны вкус, консистенция, устойчивость овощей при хранении и при переработке [10], [12]. Крахмал, являющийся основным запасным углеводом, находится в клубнях в виде крахмальных зерен, размеры которых являются сортовым признаком растений. Однако, как и размер зерен, содержание крахмала не является постоянным признаком, а меняется в зависимости от климата, почвы, условий выращивания

картофеля, величины и степени созревания клубней [8], [13].

Известно также, что устойчивость клубней при хранении, а также качество свежеприготовленных из них продуктов определяются исходным содержанием сахара в клубнях. Одной из причин этого является процесс взаимодействия между восстанавливающими сахарами и аминокислотами, происходящий в тканях клубней. В результате образуются темноокрашенные продукты – меланоидины, которые вызывают не только потемнение продукта, но и ухудшение всех его свойств (вкуса, способности развариваться и набухать, хруста, витаминной активности) [3], [7].

Целью наших исследований было определение влияния экспериментальных партий биопрепаратов на основе энтомопатогенных штаммов

B. thuringiensis (ВТ) 994, 0371 и 787 на урожай картофеля сорта Явор, на содержание крахмала и размер крахмальных зерен, а также содержание растворимого сахара и белка в клубнях картофеля. Эффект ВТ на исследуемые показатели изучали в сравнении с химическим инсектицидом Калипсо. Биопрепараты и химический инсектицид применяли как средства защиты растений картофеля от колорадского жука.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальные партии препаратов разработаны на основе штаммов бактерий из коллекции бактериальных энтомопатогенов ГБУ РК НИИСХ Крыма. Штаммы ВТ 994 и ВТ 0371 продуцируют белковый δ -эндотоксин и термостабильный β -экзотоксин, штамм ВТ 787 производит только белковый δ -эндотоксин. Действующим веществом Калипсо является неноникотиноид тиаклоприд. Работа проводилась в течение 2011–2014 годов в условиях полевого опыта на базе ГБУ РК НИИСХ Крыма. В качестве контроля служили растения картофеля, обработанные водой.

Анализ клубней на содержание крахмала проводили после сбора урожая объемным бихроматным методом по Х. Н. Починоку (1976) [5]. Величину крахмальных зерен определяли методом Е. Г. Паушевой (1988) с использованием микроскопа, проблемно ориентированного программного обеспечения – морфометра Image Pro Plus 4.5 и фотокамеры Canon [4]. Общее содержание растворимого сахара в клубнях исследовали фенольными соединениями по М. Dubois, K. F. Gilles (1980) [6]. Достоверность различий между опытными и контрольными вариантами оценивали по критерию Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Работами по изучению влияния биоинсектицидов на основе ВТ и химического инсектицида Калипсо на урожайность картофеля сорта Явор

установлено, что максимальное увеличение урожая клубней с прибавкой к контролю в среднем 100,8 ц/га (104,3 %) получали при обработке растений биопрепаратом на основе штамма ВТ 787 (таблица).

Незначительно меньше урожай (92,9 и 96,3 %) был получен с участков, обработанных соответственно ВТ 994 и ВТ 0371.

Под действием Калипсо прирост урожая клубней составил в среднем 58,3 ц/га (60,0 %), что можно объяснить влиянием химического инсектицида на физиологические процессы в организме растения картофеля, а именно снижением концентрации фотосинтетических пигментов в фазу бутонизации, когда происходит закладка клубней [2].

Биохимический анализ клубней показал, что обработка растений картофеля биоинсектицидами ВТ 994 и ВТ 787 не оказывает существенного влияния на содержание крахмала (снижение не более 2,2 %), в то время как обработка ВТ 0371 способствует его снижению на 4,5 %. При обработке растений Калипсо содержание крахмала в клубнях существенно не менялось (рис. 1).

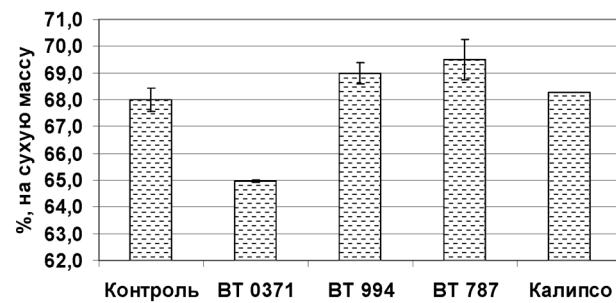


Рис. 1. Влияние биоинсектицидов ВТ 0371, ВТ 994, ВТ 787 и химического инсектицида Калипсо на содержание крахмала в клубнях картофеля сорта Явор (полевой опыт, ГБУ РК НИИСХ Крыма, 2014 год)

Известно, что с размером крахмальных зерен связаны консистенция картофельного клубня и рассыпчатость после варки, которая высоко це-

Влияние биоинсектицидов на основе *Bacillus thuringiensis* на урожайность картофеля сорта Явор (полевой опыт, ГБУ РК НИИСХ Крыма, 2011, 2013–2014 годы)

Варианты опыта	Урожай картофеля по годам, ц/га				Прирост к контролю	
	2011	2013	2014	Среднее	ц/га	%
Контроль	108,1	86,9	94,8	96,6	–	–
Биоинсектициды (штамм ВТ)	0371	149,3	207,1	202,9	186,4	89,8
	994	176,2	200,3	192,6	189,7	93,1
	787	189,6	165,6	237,0	197,4	104,3
Калипсо 480 SC, к. с.	149,6	144,7	170,4	154,9	58,3	60,0
HCP ₀₅	11,5	22,4	53,1	–	–	–

нится в картофеле. Чем меньше крахмальные зерна в клубнях картофеля, тем чаще наблюдается разрыв клеток, особенно если они меньше 20 мкм [7].

В ходе наших исследований установлено, что обработка растений картофеля BT 0371 и BT 787 не оказывает существенного влияния на размер крахмальных зерен. Применение BT 994 уменьшает большой и малый диаметр зерен на 9,6 и 16,4 % соответственно. Обработка растений Калипсо оказывает отрицательное воздействие, уменьшая размер крахмальных зерен на 33,6 и 31,4 % соответственно (рис. 2). Отмеченное уменьшение размера крахмальных зерен, особенно под действием химического инсектицида Калипсо, может свидетельствовать об ухудшении пищевых свойств клубней.

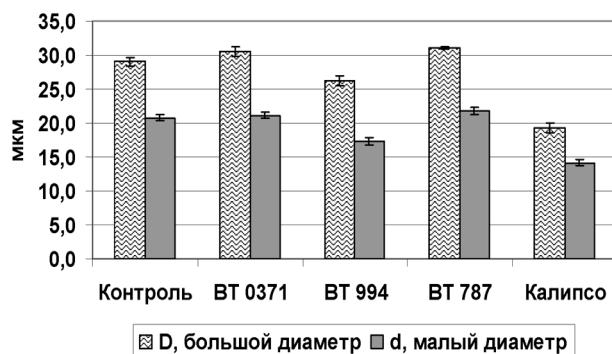


Рис. 2. Влияние биоинсектицидов BT 0371, BT 994, BT 787 и химического инсектицида Калипсо на размер крахмальных зерен в клубнях картофеля сорта Явор (полевой опыт, ГБУ РК НИИСХ Крыма, 2014 год)

Количество и состав сахара в клубнях картофеля зависят от сорта, проявления реакции растения на стресс, обработки и условий выращивания [1], [11]. Известно, что для переработки наиболее пригодны сорта картофеля с низким содержанием сахара, а повышение содержания сахара негативно влияет на качество картофеля. Если сладкий вкус картофеля можно почувствовать, как только уровень сахара превысит 7–8 % на сухое вещество, то существенное ухудшение качества готовой продукции наступает уже при 5–6 % сахара [3].

Повышение содержания растворимых сахаров в клубнях в наших исследованиях наблюдали под действием BT 0371 и BT 994 на 34,4 и 63,2 % соответственно (рис. 3). Обработка картофеля BT 787, напротив, способствовала уменьшению содержания сахара на 13,2 %. Применение Калипсо не оказывало существенного влияния на исследуемый показатель.

Однако, поскольку полученные данные не свидетельствуют о превышении содержания сахара

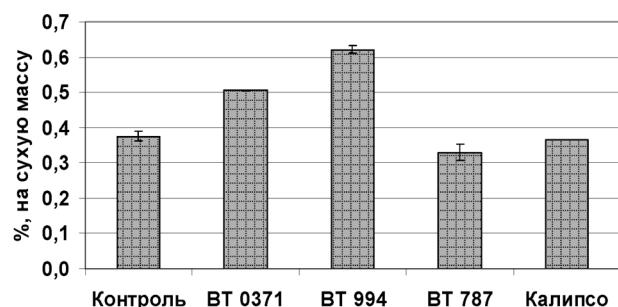


Рис. 3. Влияние биоинсектицидов BT 0371, BT 994, BT 787 и химического инсектицида Калипсо на содержание растворимого сахара в клубнях картофеля сорта Явор (полевой опыт, ГБУ РК НИИСХ Крыма, 2014 год)

более чем 1,46 % на сухое вещество, можно констатировать, что обработки растений картофеля препаративными формами на основе штаммов *B. Thuringiensis*, как и химическим инсектицидом Калипсо, не вызывают существенного влияния на содержание растворимых сахаров в клубнях.

Растительный белок всегда играл существенную роль в пищевом рационе человека. Белок картофеля традиционно успешно используется как источник незаменимых для человека аминокислот, его употребление способствует увеличению сопротивляемости организма к заболеваниям, предупреждает задержку физического развития структур головного мозга у детей [9].

Анализ содержания белка в клубнях показал, что обработка картофеля препаративными формами на основе исследуемых штаммов способствует увеличению количества белка во всех вариантах опыта (рис. 4). Максимальное увеличение отмечено в вариантах с обработкой растений BT 0371 (на 55,07 % к контролю). При обработке растений BT 994 и BT 787 содержание белка увеличивалось на 37,51 и 36,32 % соответственно. Обработка же растений картофеля Калипсо существенного влияния на накопление белка не оказывала.

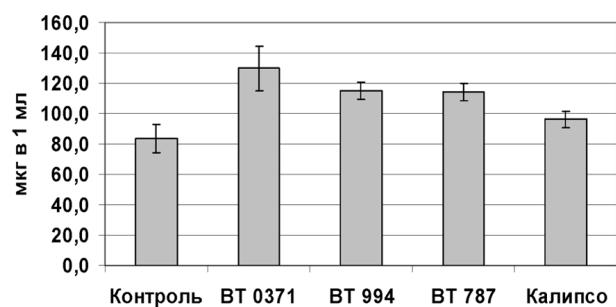


Рис. 4. Влияние биоинсектицидов BT 0371, BT 994, BT 787 и химического инсектицида Калипсо на содержание белка в клубнях картофеля сорта Явор (полевой опыт, ГБУ РК НИИСХ Крыма, 2014 год)

Таким образом, применение биоинсектицидов на основе штаммов энтомопатогенных бактерий *B. thuringiensis* 994, 0371 и 787 в биоценозе картофеля, в отличие от химического инсектицида

Калипсо, позволяет получать экологически безопасную продукцию картофелеводства с минимальным негативным воздействием на содержание крахмала, сахара и белка в клубнях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Зейрук В. Н., Пшеченков К. А., Давыденкова О. Н., Мальцев С. В. Качество свежего столового картофеля и картофелепродуктов в зависимости от условий выращивания и хранения в Центральном регионе России // Картофелеводство России: актуальные проблемы науки и практики. М.: Рос. акад. с.-х. наук, 2007. С. 175–179.
- Крижко А. В. Вплив штамів *Bacillus thuringiensis* на пігментний апарат листя картоплі // Агроекологічний журнал. 2009. № 2. С. 111–114.
- Мегердичев Е. Я., Клюева О. А. Исследование зависимости технологических свойств картофеля от содержания углеводов [Производство замороженного полуфабриката картофеля «фри»] // Плодоовощные консервы – технология, оборудование, качество, безопасность: Материалы междунар. науч.-практ. конф. М.; Видное: Всерос. науч.-исслед. ин-т консерв. и овощесушил. пром-сти, 2004. Т. 1. С. 168–172.
- Пашева З. П. Практикум по цитологии растений. М.: Агропромиздат, 1988. 271 с.
- Починок Х. Н. Методы биохимического анализа растений. Киев: Наукова думка, 1976. 334 с.
- Применение метода спектрофотометрии в почвоведении, мелиорации и сельском хозяйстве / Под ред. проф. Д. С. Орлова. М.; Новочеркасск, 1980. 73 с.
- Савина О. В. Биохимия растениеводческой продукции. Рязань: Изд-во РГАТУ, 2013. 208 с.
- Турко С. А., Рубель М. И., Иванюк В. Г. Настольная книга картофелевода. Минск: РУП Науч.-практ. центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству, 2007. 74 с.
- Chakraborty S., Chakraborty N., Agrawal L., Ghosh S., Narula K., Shekhar S. Next-generation protein-rich potato expressing the seed protein gene AmA1 is a result of proteome rebalancing in transgenic tuber // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2010. Vol. 107 (41). P. 17533–17538.
- Grennan A. Lee K. Regulation of Starch Metabolism in *Arabidopsis* Leaves // Plant Physiology. 2006. Vol. 142. № 4. P. 1343–1345.
- Ohara-Takada A., Matsuura-Endo C., Chuda Y., Ono H., Yada H., Yoshida M., Kobayashi A., Tsuba S., Takigawa S. Change in Content of Sugars and Free Amino Acids in Potato Tubers under Short-Term Storage at Low Temperature and the Effect on Acrylamide Level after Frying // Biosc. Biotechnol. Biochem. 2005. Vol. 69 (7). P. 1232–1238.
- Ovando-Martinez M., Whitney K., Simsek S. Analysis of starch in food systems by high-performance size exclusion chromatography // J. Food Sci. 2013. № 78 (2). P. 192–198.
- Sanchez T., Dufour D., Moreno I. X., Ceballos H. Comparison of pasting and gel stabilities of waxy and normal starches from potato, maize, and rice with those of a novel waxy cassava starch under thermal, chemical, and mechanical stress // J. Agric. Food Chem. 2010. № 58 (8). P. 5093–5099.

Kryzhko A. V., Research Institute for Agriculture of Crimea
(Simferopol, Russian Federation)

Kuznetsova L. N., Research Institute for Agriculture of Crimea
(Simferopol, Russian Federation)

THE INFLUENCE OF *BACILLUS THURINGIENSIS* BIOINSECTICIDES ON POTATO TUBERS' QUALITY

The research tested the effect of experimental batches of insecticides based on the entomopathogenic *Bacillus thuringiensis* (BT) 994, 0371 and 787 strains on the Javor potato crop, on the starch content and the size of the starch granules, on the soluble sugar content and the protein content in potato tubers. The BT effect on the analyzed parameters was studied comparatively with the chemical insecticide Calypso. Biopreparations and chemical insecticides were used as a tool protecting potato plants against the Colorado potato beetle. An experimental batch of preparations was elaborated on the basis of bacterial strains from entomopathogens' bacterial collection belonging to the state institution of the Republic Crimea "Research Institute for Agriculture of Crimea". The strains of BT 994 and BT 0371 produce the δ -endotoxin protein and the thermostable β -exotoxin. But the strain BT 787 produces only δ -endotoxin protein. The active ingredient of Calypso is a neonicotinoid thiacloprid. The treatment of potato plants with water was used as a method of control. It is well established that bioinsecticides BT 0371, BT 994 and BT 787, introduced in Javor potato agrobiocenosis, promoted the growth of tubers by 92,9; 96,3 and 104,3 %, respectively, while chemical insecticides Calypso – only by 60,0 %. Obtainment of the environmentally safe products with a minimum negative impact on the content of starch (reduction were not more than 2,2 %), sugar (increasing were not more than 1,46 % on a dry substance), and protein (an average increasing on a 42,9 %), as well as on the size of the starch grains in the tubers was a result of the bioinsecticides application in the plants. Thus, the use of bioinsecticides based on the entomopathogenic bacteria *B. thuringiensis* 994, 0371 and 787 strains in potato biocenosis, unlike the use of chemical insecticide Calypso, produces environmentally safe potato with a minimum negative impact on the content of starch, protein and sugar in tubers.

Key words: bioinsecticides, *Bacillus thuringiensis*, potato, crop, tubers quality

REFERENCES

1. Zeyruk V. N., Pshchenko K. A., Davydenkova O. N., Mat'tshev S. V. The quality of fresh table potatoes and potato products, depending on growing conditions and storage in the Central region of Russia [Kachestvo svezhego stolovogo kartofelya i kartofeleproduktov v zavisimosti ot usloviy vyrashchivaniya i khraneniya v Tsentral'nom regione Rossii]. *Kartofelevodstvo Rossii: aktual'nye problemy nauki i praktiki* [Potato Russia: actual problems of science and practice]. Moscow, Ross. arad. s.-kh. nauk Publ., 2007. P. 175–179.
2. Krijko A. B. Вплив штамів *Bacillus thuringiensis* на пігментний апарат листя картоплі // Агроекологічний журнал. 2009. № 2. С. 111–114.
3. Megerdichev E. Ya., Klyueva O. A. The dependence of the technological properties of potato carbohydrate content [Production of semi-frozen potato “fries”] [Issledovanie zavisimosti tekhnologicheskikh svoystv kartofelya ot soderzhaniya uglevodov [Proizvodstvo zamorozhennogo polufabrikata kartofelya “fri”]. *Plodoovoshchnye konservy – tekhnologiya, oborudovanie, kachestvo, bezopasnost': Materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Fruit and vegetable preserves – technology, equipment, quality, safety: Proceedings Intern. scientific and practical]. Moscow: Vidnoe, 2004. Vol. 1. P. 168–172.
4. Pausheva Z. P. *Praktikum po tsitologii rasteniy* [Workshop on plant cytology]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1988. 271 p.
5. Pochinok K. N. *Metody biokhimicheskogo analiza rasteniy* [Methods of biochemical analysis of plants]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1976. 334 p.
6. *Primenenie metoda spektrofotometrii v pochvovedenii, melioratsii i sel'skom khozyaystve* [Application of spectrophotometry in soil science, irrigation and agriculture]. Moscow: Novocherkassk, 1980. 73 p.
7. Savina O. V. *Biokhimiya rastenievodcheskoy produktsii* [Biochemistry of crop production]. Ryazan, RGATU Publ., 2013. 208 p.
8. Turko S. A., Rubel' M. I., Ivanyuk V. G. *Nastol'naya kniga kartofelevoda* [Potato Handbook]. Minsk, 2007. 74 p.
9. Chakraborty S., Chakraborty N., Agrawal L., Ghosh S., Narula K., Shekhar S. Next-generation protein-rich potato expressing the seed protein gene AmA1 is a result of proteome rebalancing in transgenic tuber // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2010. Vol. 107 (41). P. 17533–17538.
10. Grennan Aleel K. Regulation of Starch Metabolism in *Arabidopsis* Leaves // Plant Physiology. 2006. Vol. 142. № 4. P. 1343–1345.
11. Ohara-Takada A., Matsuura-Endo C., Chuda Y., Ono H., Yada H., Yoshida M., Kobayashi A., Tsuda S., Takigawa S. Change in Content of Sugars and Free Amino Acids in Potato Tubers under Short-Term Storage at Low Temperature and the Effect on Acrylamide Level after Frying // Biosc. Biotechnol. Biochem. 2005. Vol. 69 (7). P. 1232–1238.
12. Ovando-Martinez M., Whitney K., Simsek S. Analysis of starch in food systems by high-performance size exclusion chromatography // J. Food Sci. 2013. № 78 (2). P. 192–198.
13. Sanchez T., Dufour D., Moreno I. X., Ceballos H. Comparison of pasting and gel stabilities of waxy and normal starches from potato, maize, and rice with those of a novel waxy cassava starch under thermal, chemical, and mechanical stress // J. Agric. Food Chem. 2010. № 58 (8). P. 5093–5099.

Поступила в редакцию 15.06.2015