

В. В. Опимах¹, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
заведующий сектором столовых корнеплодов

А. С. Григаленок¹, младший научный сотрудник

Э. П. Урбан², член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,

первый заместитель генерального директора по научной работе

С. Г. Азизбекян³, старший научный сотрудник

Ж. А. Рупасова⁴, член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор биологических наук, профессор,

заведующий лабораторией химии растений

Д. О. Сулим⁴, младший научный сотрудник

¹ РУП «Институт овощеводства», аг. Самохваловичи, Минский район

² РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию»,
г. Жодино, Минская область

³ ГНУ «Институт физико-органической химии НАН Беларуси»,
г. Минск

⁴ ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси», г. Минск

ВЛИЯНИЕ ПЛЕНКООБРАЗУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ И МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СТИМУЛЯТОРА НАНОПЛАНТ ПРИ ИНКРУСТАЦИИ СЕМЯН СВЕКЛЫ СТОЛОВОЙ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КОРНЕПЛОДОВ

РЕЗЮМЕ

Приведены результаты сравнительного исследования влияния пленкообразующих компонентов – Гисинара, ПВА, ВР-1 и NaКМЦ при инкрустации семян в сочетании с обработкой микроэлементным стимулятором Наноплант-8 в дозах 1, 3 и 5 мл/кг на содержание в корнеплодах свеклы столовой сухих веществ, свободных органических кислот, растворимых сахаров и показатель сахарокислотного индекса, выполненного в рамках полевого эксперимента с 13-вариантной схемой.

Наиболее выраженное положительное влияние на качество корнеплодов по совокупности исследуемых биохимических характеристик, обусловленное их заметным обогащением растворимыми сахарами и в большей степени свободными органическими кислотами, оказало применение Нанопланта в дозе 5 мл/кг. При этом наиболее эффективным было применение ВР-1 при наименьшей результативности в большинстве случаев обработки семян Наноплантом в дозе 3 мл/кг.

Ключевые слова: свекла столовая; корнеплоды; семена; пленкообразующие компоненты; микроэлементный стимулятор Наноплант; сухие вещества; свободные органические кислоты; растворимые сахара; сахарокислотный индекс.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших аспектов совершенствования технологии выращивания корнеплодов свеклы столовой является использование для инкрустации семян пленкообразующих компонентов, среди которых наиболее перспективными являются следующие виды клеящих веществ: ВР-1 (ВРП-3 полимер синтетический водорастворимый ТУ РБ 00280198.024-99); NaКМЦ (карбоксиметилцеллюлоза, марка 75 Б, ТУ2231-034-79249837-206 с изм. 1-17); Гисинар («Гисинар-М», водная суспензия 150–200 г/л (сополимер натриевой соли акриловой кислоты и акриламида), ТУ ВУ 100050710.103-2007) – водная суспензия, а также ПВА (поливинилацетатный клей). При этом для оптимизации питательного режима прорастающих семян представлялось целесообразным проведение их обработки жидким концентрированным микроэлементным стимулирующим препаратом Наноплант-8, в состав которого входят 8 микроэлементов, в том числе с содержанием в г/л: Zn – не менее 0,25, Co, Mn – не менее 0,36, Cu, Cr, Mo, Se – не менее 0,45, Fe – не менее 0,60.

Использование перечисленных выше химических соединений при инкрустации семян свеклы могло оказать определенное влияние на биохимический состав корнеплодов. С целью установления степени данного влияния были проведены настоящие исследования, позволившие научно обосновать эффективность того или иного агроприема в плане улучшения качества производимой продукции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование влияния совместного использования пленкообразующих компонентов и микроэлементного стимулятора Наноплант при инкрустации семян свеклы столовой на ряд биохимических характеристик корнеплодов на примере сорта Прыгажуня выполнено в рамках полевого эксперимента с 13-вариантной схемой обработок: 9 – Контроль – вариант без обработки; 7 – Гисинар + Наноплант (1 мл/кг); 8 – ПВА + Наноплант (1 мл/кг); 10 – ВР-1 + Наноплант (1 мл/кг); 11 – NaКМЦ + Наноплант (1 мл/кг); 13 – Гисинар + Наноплант (3 мл/кг); 14 – ПВА + Наноплант (3 мл/кг); 15 – ВР-1 + Наноплант (3 мл/кг); 16 – NaКМЦ + Наноплант (3 мл/кг); 19 – Гисинар + Наноплант (5 мл/кг); 20 – ПВА + Наноплант (5 мл/кг); 21 – ВР-1 + Наноплант (5 мл/кг); 22 – NaКМЦ + Наноплант (5 мл/кг).

Перед закладкой полевого опыта был проведен анализ посевных качеств семян свеклы в соответствии с ГОСТ 12038-84, выявивший показатель всхожести 98 % при энергии прорастания 92 %. Подготовку семян для проведения инкрустации осуществляли на шлифовальной машине с последующей доочисткой и калибровкой. При этом для всех вариантов опыта, за исключением контроля, была предусмотрена предварительная обработка семян протравителем Престиж. Испытываемые пленкообразующие компоненты применялись из расчета 100 мл/кг семян.

Биохимические исследования выполнены в лаборатории химии растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси. При определении спектра

характеристик биохимического состава корнеплодов свеклы приоритетное внимание было уделено параметрам накопления наиболее ценных в физиологическом плане соединений. Интерес к изучению влияния испытываемых агроприемов на биосинтез свободных органических кислот обусловлен их способностью обеспечивать поддержание кислотно-щелочного баланса в организме человека, а необходимость определения содержания растворимых сахаров связана с тем, что они являются выгодным и удобным источником трофических и энергетических ресурсов для функционирования организма.

В свежих усредненных пробах растительного материала определяли содержание сухих веществ по ГОСТ 31640-2012 [3]; титруемых кислот (общей кислотности) – объемным методом [4]. В высушенных при температуре 60 °С пробах определяли содержание растворимых сахаров ускоренным полумикрометодом [1]. Все измерения и определения выполнены в 2-кратной биологической и 3-кратной аналитической повторности с последующей статистической обработкой экспериментальных данных по методике, принятой для биологических исследований с использованием программы Microsoft Office Excel 2007 [2, 5].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования биохимических характеристик корнеплодов свеклы столовой, полученные на фоне испытываемых агроприемов в рамках аналогичного с культурой моркови столовой полевого эксперимента и приведенные в таблице 1, выявили довольно широкие диапазоны их варьирования, составившие для содержания сухих веществ 16,1–25,0 %, свободных органических (титруемых) кислот – 0,92–2,16 %, растворимых сахаров – 48,3–65,0 % и показателя сахарокислотного индекса, характеризующего сладость данной продукции и определяемого по соотношению количеств растворимых сахаров и титруемых кислот – 26,0–60,5.

Значительная ширина приведенных диапазонов однозначно свидетельствовала о существенной зависимости исследуемых биохимических характеристик корнеплодов свеклы от испытываемых агроприемов, влияние которых, как и у моркови столовой, оказалось неоднозначным. Как следует из таблицы 2, независимо от дозы Нанопланта обработки семян свеклы Гисинаром способствовали усилению накопления в корнеплодах сухих веществ на 5–9 % относительно контроля. Аналогичная, но более выраженная тенденция увеличения их содержания на 19 % выявлена при использовании минимальной дозы стимулятора на фоне обработок ПВА.

В остальных вариантах опыта установлено либо снижение данного показателя на 7–24 %, наибольшее при применении минимальной дозы Нанопланта в сочетании с NaKMЦ, либо отсутствие различий с контролем по данному показателю.

Вместе с тем влияние пленкообразующих компонентов на накопление в корнеплодах свеклы свободных органических кислот на фоне обработок семян Наноплантом в дозах 1 и 3 мл/кг характеризовалось противоположной

Таблица 1 – Биохимические характеристики корнеплодов свеклы столовой в вариантах полевого опыта с использованием пленкообразующих компонентов и микроэлементного стимулятора Наноплант при инкрустации семян (в расчете на сухое вещество)

Вариант опыта	Сухие вещества, %		Свободные органические кислоты, %		Растворимые сахара, %		Сахарокислотный индекс	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>
9 – Контроль	21,1 ± 0,1	–	1,35 ± 0,05	–	53,7 ± 0,3	–	39,8 ± 1,4	–
7 – Гисинар + Наноплант 1 мл/кг	22,2 ± 0,2	5,2*	1,33 ± 0,03	-0,3	53,0 ± 0,1	-2,0	39,8 ± 0,8	0
8 – ПВА + Наноплант 1 мл/кг	25,0 ± 0,1	30,2*	0,92 ± 0,02	-8,4*	55,3 ± 0,3	3,5*	60,5 ± 2,0	8,6*
10 – ВР-1 + Наноплант 1 мл/кг	20,5 ± 0,3	-2,0	1,75 ± 0,03	7,4*	53,0 ± 1,2	-0,6	30,4 ± 0,8	-5,8*
11 – NaКМЦ + Наноплант 1 мл/кг	16,1 ± 0,1	-39,5*	1,94 ± 0,03	10,3*	51,3 ± 0,3	-4,9*	26,5 ± 0,6	-8,6*
13 – Гисинар + Наноплант 3 мл/кг	23,0 ± 0,2	9,2*	1,32 ± 0,01	-0,6	56,0 ± 0,6	3,5*	42,4 ± 0,4	1,8
14 – ПВА + Наноплант 3 мл/кг	19,6 ± 0,4	-3,9*	2,02 ± 0,03	12,2*	57,0 ± 1,0	3,2*	28,2 ± 0,8	-7,2*
15 – ВР-1 + Наноплант 3 мл/кг	18,8 ± 0,2	-10,4*	1,30 ± 0,03	-0,9	50,7 ± 0,9	3,2*	38,9 ± 0,3	-0,7
16 – NaКМЦ + Наноплант 3 мл/кг	20,9 ± 0,2	-1,0	1,33 ± 0,03	-0,3	48,3 ± 1,5	-3,6*	36,2 ± 0,7	-2,8*
19 – Гисинар + Наноплант 5 мл/кг	22,6 ± 0,1	14,4*	1,60 ± 0,03	4,7*	63,0 ± 1,7	6,4*	40,6 ± 1,3	0,4
20 – ПВА + Наноплант 5 мл/кг	21,4 ± 0,1	1,6	1,65 ± 0,05	4,6*	60,7 ± 0,7	9,4*	36,8 ± 1,1	-2,8*
21 – ВР-1 + Наноплант 5 мл/кг	21,2 ± 0,2	0,7	1,79 ± 0,02	8,4*	65,0 ± 1,7	6,4*	36,4 ± 0,6	-2,8*
22 – NaКМЦ + Наноплант 5 мл/кг	19,7 ± 0,3	-5,3*	2,16 ± 0,03	15,1*	56,0 ± 0,6	3,5*	26,0 ± 0,4	-9,5*

* Статистически значимые по *t*-критерию Стьюдента различия с контролем при $p < 0,05$.

Таблица 2 – Относительные различия с контролем вариантов полевого опыта с использованием пленкообразующего компонента и микроэлементного стимулятора Наноплант при инкрустации семян свеклы столовой по биохимическим характеристикам корнеплодов, %

Вариант опыта	Сухие вещества	Свободные органические кислоты	Растворимые сахара	Сахаро-кислотный индекс	Совокупный эффект
7 – Гисинар + Наноплант 1 мл/кг	+5,2	–	–	–	+5,2
8 – ПВА + Наноплант 1 мл/кг	+18,5	-31,9	+3,0	+52,0	+41,6
10 – ВР-1 + Наноплант 1 мл/кг	–	+29,6	–	-23,6	+6,0
11 – NaКМЦ + Наноплант 1 мл/кг	-23,7	+43,7	-4,5	-33,4	-17,9
13 – Гисинар + Наноплант 3 мл/кг	+9,0	–	+4,3	–	+13,3
14 – ПВА + Наноплант 3 мл/кг	-7,1	+49,6	+6,1	-29,1	+19,5
15 – ВР-1 + Наноплант 3 мл/кг	-10,9	–	-5,6	–	-16,5
16 – NaКМЦ + Наноплант 3 мл/кг	–	–	-10,1	-9,0	-19,1
19 – Гисинар + Наноплант 5 мл/кг	+7,1	+18,5	+17,3	–	+42,9
20 – ПВА + Наноплант 5 мл/кг	–	+22,2	+13,0	-7,5	+27,7
21 – ВР-1 + Наноплант 5 мл/кг	–	+32,6	+21,0	-8,5	+45,1
22 – NaКМЦ + Наноплант 5 мл/кг	-6,6	+60,0	+4,3	-34,7	+23,0

Примечание. Прочерк означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий с контролем при $p < 0,05$.

установленной в эксперименте с морковью направленностью. Так, в отличие от данной культуры, при минимальной дозе стимулятора использование ПВА для обработки семян свеклы способствовало снижению на 32 % содержания сухих веществ в корнеплодах по сравнению с контролем, тогда как применение в этих целях ВР-1 и особенно NaKMЦ, напротив, приводило к усилению их накопления на 30–44 % (см. табл. 2). При этом в большинстве вариантов опыта использование Нанопланта в дозе 3 мл/кг не оказывало значимого влияния на содержание в корнеплодах свеклы титруемых кислот, и лишь на фоне обработок семян ПВА наблюдалось не ослабление, как у моркови, их накопления, а напротив, его усиление почти на 50 % относительно контроля. Однако при применении максимальной дозы Нанопланта в большинстве вариантов опыта установлено отчетливо выраженное сходство с культурой моркови в изменении содержания титруемых кислот, состоявшее в активизации их накопления на 22–60 % по сравнению с контролем, наиболее значительной на фоне обработок семян NaKMЦ. Лишь при применении Гисинара, способствовавшего, как и остальные пленкообразователи, усилению накопления в корнеплодах свеклы титруемых кислот на 19 %, данная закономерность отличалась противоположной с культурой моркови направленностью.

Что касается растворимых сахаров, то влияние пленкообразующих компонентов на их накопление в корнеплодах свеклы на фоне обработок семян Наноплантом в дозах 1 и 3 мл/кг, как и свободных органических кислот, в ряде случаев характеризовалось противоположной установленной в эксперименте с морковью направленностью, но при меньшей степени его выразительности. Это подтверждалось отсутствием достоверных различий с контролем в их содержании при использовании Гисинара и ВР-1 в сочетании с минимальной дозой стимулятора, а также ингибированием на 6–10 % биосинтеза данных углеводов в вариантах опыта с применением ВР-1 и NaKMЦ совместно с Наноплантом в дозе 3 мл/кг. Вместе с тем при обеих дозах стимулятора использование ПВА, как и в эксперименте с морковью, способствовало хотя и менее выраженному, чем у нее, но все же статистически значимому обогащению корнеплодов свеклы растворимыми сахарами не более чем на 3–6 %. Аналогичная картина наблюдалась также при использовании Гисинара в сочетании с Наноплантом в дозе 3 мл/кг. Однако, как и в эксперименте с культурой моркови, на фоне обработок семян NaKMЦ в сочетании с минимальной дозой стимулятора происходило обеднение корнеплодов свеклы растворимыми сахарами, но выраженное в значительно меньшей степени (см. табл. 2).

Заметим, что при использовании максимальной дозы Нанопланта обнаружено отчетливое сходство с культурой моркови в направленности и степени изменений в содержании данных углеводов в корнеплодах свеклы относительно контроля. Так, в 19–21 вариантах опыта отмечено усиление их накопления на 13–21 %, наибольшее, как и у моркови, на фоне обработок семян ВР-1 и наименьшее при использовании ПВА. Однако, в отличие от предыдущего эксперимента, наименее успешным в этом плане оказался вариант

опыта с обработкой семян NaKMЦ, в котором активизация накопления растворимых сахаров в корнеплодах свеклы относительно контроля уступала таковой в корнеплодах моркови в 5,6 раза.

Показанная выше несопоставимость темпов биосинтеза титруемых кислот и растворимых сахаров в корнеплодах свеклы в большинстве вариантов опыта обусловила снижение на 8–35 % величины сахарокислотного индекса по сравнению с контролем, наиболее значительное на фоне обработок семян NaKMЦ в сочетании с минимальной и максимальной дозами Нанопланта, а также при совместном использовании ПВА и стимулятора в дозе 3 мл/кг. Лишь в единичном случае – в варианте опыта с применением данного пленкообразователя в сочетании с минимальной дозой Нанопланта установлено увеличение данного показателя по сравнению с контролем более чем на 50 %, обусловленное, главным образом, существенным ингибированием биосинтеза свободных органических кислот и в меньшей степени усилением накопления растворимых сахаров, не превышавшем 3 %. При этом независимо от дозы Нанопланта обработка семян свеклы Гисинаром не оказывала значимого влияния на показатель сахарокислотного индекса корнеплодов.

Как и в эксперименте с культурой моркови столовой, для выявления самого эффективного агроприема, обеспечившего наиболее высокое качество корнеплодов свеклы по спектру исследуемых показателей, был определен совокупный эффект. С этой целью во всех вариантах опыта было осуществлено суммирование относительных размеров отклонений биохимических характеристик от контроля с учетом их знака. Как следует из таблицы 2, на фоне обработок семян Наноплантом в дозах 1 и 3 мл/кг наиболее результативным оказалось применение пленкообразующего компонента ПВА, тогда как наименее эффективным, существенно уступающим варианту без обработок – использование NaKMЦ. Вместе с тем обработки семян максимальной дозой стимулятора обеспечили наиболее высокое в эксперименте, причем сходное, качество продукции в вариантах опыта с применением Гисинара и ВР-1. При этом в первом случае в степени его улучшения обнаружено сходство с культурой моркови. Использование ПВА и NaKMЦ также обусловило улучшение качественных показателей корнеплодов по сравнению с контролем, но их эффективность в этом плане уступала таковой в предыдущих вариантах опыта в 1,5–2 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате сравнительного исследования влияния пленкообразующих компонентов – Гисинара, ПВА, ВР-1 и NaKMЦ при инкрустации семян в сочетании с обработкой микроэлементным стимулятором Наноплант-8 в дозах 1, 3 и 5 мл/кг на биохимический состав продукции корнеплодов свеклы столовой (сорт Прыгажуня), выполненного в рамках полевого эксперимента с 13-вариантной схемой обработок, установлено, что совместное использование пленкообразующих компонентов и Нанопланта оказало неоднозначное

влияние на темпы биосинтеза в корнеплодах свеклы сухих веществ, свободных органических кислот, растворимых сахаров и показатель сахарокислотного индекса, определяющий их вкусовые свойства.

Как и у культуры моркови, наиболее выраженное в рамках эксперимента положительное влияние на качество корнеплодов свеклы столовой по совокупности исследуемых биохимических характеристик, обусловленное в первую очередь их заметным обогащением растворимыми сахарами и в большей степени свободными органическими кислотами, оказало применение Нанопланта в дозе 5 мл/кг при сходстве степени выразительности ответной реакции обеих овощных культур на обработку семян Гисинаром. Но если для моркови наиболее эффективным в этом плане было применение NaКМЦ, то для свеклы – использование ВР-1 при наименьшей результативности в большинстве случаев обработки семян Наноплантом в дозе 3 мл/кг.

Список использованных источников

1. Большой практикум «Биохимия». Лабораторные работы : учеб. пособие / Перм. гос. нац. исслед. ун-т ; сост. М. Г. Кусакина, В. И. Суворов, Л. А. Чудинова. – Пермь, 2012. – 148 с.
2. Боровиков, В. П. STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов / В. П. Боровиков. – СПб. : Питер, 2001. – 656 с.
3. Корма. Методы определения содержания сухого вещества : ГОСТ 31640-2012. – Введ. 01.07.2013. – М. : Стандартинформ, 2012. – 11 с.
4. Методы биохимического исследования растений / под ред. А. И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л., 1987. – 430 с.
5. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели : учеб. пособ. для студ. высш. учеб. заведений / В. Д. Мятлев [и др.]. – М. : Академия, 2009. – 320 с. – (Университетский учебник. Высшая математика и ее приложения к биологии).

Поступила в редакцию 28 ноября 2022 г.

**V. V. Opimah, A. S. Grigalenok, E. P. Urban, S. G. Azizbekyan,
Zh. A. Rupasova, D. O. Sulim**

THE EFFECT OF MEMBRANE-FORMING COMPONENTS AND THE MICROELEMENT STIMULANT NANOPLANT WHEN INCRUSTATION OF RED BEET SEEDS ON THE BIOCHEMICAL COMPOSITION OF ROOT CROPS

SUMMARY

The article presents the results of a comparative study of the effect of membrane-forming components – Gisinar, PVA, WS-1 and NaCMC during seed encrustation in combination with treatment of the microelement stimulator Nanoplant-8 in doses of 1, 3 and 5 ml/kg on the content of dry substances,

free organic acids, soluble sugars and the sugar-acid index in beet rootcrops, performed as part of a field experiment with a 13-variant scheme.

The most pronounced positive effect on the quality of root crops in terms of the studied biochemical characteristics, such as organic acids and soluble sugars, was achieved through the use of Nanoplant at a dose of 5 ml/kg. At the same time, the most effective was the use of WS-1 with the lowest efficiency in most cases of seed treatment with Nanoplant at a dose of 3 ml/kg.

Key words: red beet; root crops; seeds; membrane-forming components; microelement stimulator Nanoplant; dry substances; free organic acids; soluble sugars; sugar-acid index.