

## ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И МЕЛАФЕНА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА КОРНЕПЛОДОВ САХАРНОЙ СВЁКЛЫ

**Костин Владимир Ильич**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой «Биология, химия, ТХППР»

**Исайчев Виталий Александрович**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Биология, химия, ТХППР»

**Ошкин Владимир Александрович**, аспирант кафедры «Биология, химия, ТХППР»

ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина»

432017, Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1 тел.: +79084787387,

e-mail: isawit@yandex.ru

**Ключевые слова:** антагонизм, синергизм, аддитивность, сахаристость, калий, кальций, доброкачественность сока, взаимодействие ионов, микроэлементы, сахарная свёкла, ионное равновесие, анионное взаимодействие.

Изучено взаимодействие (антагонизм, синергизм, аддитивность) бора с мелафеном, а также регулятора роста мелафена с микроэлементами при применении внекорневой подкормки в технологии возделывания сахарной свёклы на основе выведенных авторами эмпирических формул и строения атомов с их электронной конфигурацией. Установлено физиологическое усиление бора мелафеном, а также синергизм между микроэлементами d-электронного семейства и совместно с мелафеном на основные показатели качества корнеплодов (сахаристость и доброкачественность сока).

### Введение

Кроме воды, поглощаемой из почвы, и органических соединений, образующихся в процессе фотосинтеза, зелёному растению необходимы элементы минерального питания. В растительном организме микроэлементы выполняют различные функции, особенно структурные, а также вовлекаются в действие специфических ферментов, регулирующих важные аспекты метаболических процессов клетки [1]. Минеральные вещества обычно накапливаются в тех клетках, где в них возникает потребность, такая избирательность регулируется клеточными мембранами с различной проницаемостью, учитывая и взаимодействие ионов, так как некоторые ионы могут влиять на поглощение и транспорт других ионов. Установлено, что повышение концентрации  $Rb^+$  во внешнем растворе снижает поглощение  $K^+$ , и наоборот,  $Cl^-$  и  $Br^-$  также действуют как взаимные антагонисты. Наличие натрия, напротив, оказывает незначительное влияние на поглощение  $Rb^+$ , но снижает поглощение  $Zn^{2+}$  [2]. По-видимому, определённые груп-

пы ионов «конкурируют» за специфические участки локализованного в мембране переносчика. Иногда поглощение избирательного иона может предотвратить вредные влияния, обусловленные избыточным поглощением другого иона. Доказано, что  $K^+$  и другие одновалентные катионы имеют тенденцию уменьшать вязкость цитоплазмы и увеличивать текучесть и проницаемость мембран, тогда как двухвалентные катионы, например,  $Ca^{2+}$ , оказывают противоположное влияние [3].

Поэтому из-за таких взаимодействий для корректировки применения удобрений, особенно микроэлементов, следует учитывать явление антагонизма, синергизма и аддитивности ионов в солевых растворах.

Антагонисты ионы могут поступать в почву, повышая ионное равновесие или снижая его, учитывая соотношение ионов-антагонистов. Сбалансированность почвенного раствора связана и с синергизмом ионов (явление противоположное антагонизму ионов) – ион какого-то минерального элемента мало активен, если нет какого-то

другого, улучшающего его активность. Ионы-синергисты усиливают в паре каждый – положительное действие связанного иона, в связи с тем, что в растениях могут происходить различные физиолого-биохимические процессы, которые связаны с явлениями положительного и отрицательного антагонизма, синергизма, аддитивности и различных факторов химической и физической природы. Отрицательный синергизм проявляется тогда, когда отравляющее действие одной соли усиливается отрицательным действием другой. Уравновешенность связана с аддитивностью ионов, т.е. с их суммарным коагулирующим действием, которое связано с их заполнением. По-видимому, это происходит чаще в случае близкой валентности и соседнего положения в лиотропных рядах ионов-коагулянтов, т.е. в элементах побочных подгрупп с близким, почти одинаковым ионным радиусом.

#### Объекты и методы исследований

Для изучения антагонизма, синергизма и аддитивности более 20 лет проводятся лабораторные, вегетационные и полевые опыты на различных сельскохозяйственных культурах с применением регуляторов роста, минеральных удобрений и других факторов на физиологические показатели растений. Микроэлементы определяли на атомно-абсорбционном спектрометре «Спектр-5-4», сахарозу – на современном проточном поляриметрическом сахариметре АП-05, доброкачественность нормального сока – в заводской лаборатории Ульяновского сахарного завода.

Для оценки взаимодействия ионов и других факторов предлагаем эмпирические формулы:

$$\text{Эф} (D\Phi_1 \times D\Phi_2) > \text{Эф} (D\Phi_1 + D\Phi_2), \quad (1)$$

где Эф – эффект от суммы факторов, D – доза (концентрация),  $\Phi$  – фактор.

Возможна ситуация, когда эффект при действии от доз (концентраций) изучаемых факторов сочетается следующим образом

$$\text{Эф} (D\Phi_1 + D\Phi_2) = \text{Эф} (D\Phi_1 + D\Phi_2), \quad (2)$$

$$\text{Эф} (D\Phi_1 \times D\Phi_2) = \Phi_1 (D\Phi_1) + \Phi_2 (D\Phi_2) - \Phi_1 (D\Phi_1) \cdot \Phi_2 (D\Phi_2). \quad (3)$$

Как следует из 2-й формулы, в первом случае (2) факторы действуют аддитивно на

уровне доз (концентраций), а во втором (3) независимо на уровне механизмов. На основании трёх вышеуказанных формул представлена универсальная формула для определения коэффициента взаимодействия.

$$K_{\text{вз}} = \frac{\sum D\Phi - (D_1\Phi_1 + D_2\Phi_2 + \dots D_n\Phi_n)}{\sum D\Phi},$$

где  $K_{\text{вз}}$  – коэффициент взаимодействия,  $\Sigma$  – эффект от суммы факторов, D – доза или концентрация используемого вещества,  $\Phi_1\Phi_2\Phi_3$  – действие изолируемых факторов.

#### Результаты исследований

В настоящее время в отечественной и зарубежной литературе лишь частично раскрыты термины и теоретические положения о взаимодействии ионов, механизме их действия. Только [4, 5, 6] рассматривается антагонизм ионов для одно- и двухвалентных элементов первой группы главной подгруппы и показано, что для нормального роста растений необходимо определённое сочетание солей одно- и двухвалентных катионов. Автором [7] указывается, что в явлении антагонизма действие ионов зависит от их валентности, представлены определения синергизма и аддитивности, схема данных взаимодействий, но не описаны их причины. Установлено, что чем выше валентность данного иона, тем в меньшей степени концентрации проявляется его антагонистическое действие, а при переменной валентности следует учитывать не валентность, а степень окисления, так,  $Mn^{2+}$  – можно применить понятие марганец двухвалентен, а если  $Mn^{7+}$ , то в данном случае марганец со степенью окисления плюс семь, т.к. в природе такого иона нет, а есть  $MnO_4^-$ . Определено, что синергетическое действие солей заключается в том, что одна из них усиливает действие другой, а аддитивность наблюдается при осмосе: если соли не влияют на электрическую диссоциацию, следует правильно рассматривать электролитическую диссоциацию компонентов, то есть осмотическое давление равно сумме парциальных осмотических давлений солей, входящих в смесь, поэтому данные физиологические процессы нельзя отождествлять с понятием

Таблица 1

Влияние бора и мелафена на урожайность и качество корнеплодов сахарной свёклы (2011-2013 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га	Сахаристость, %	Доброкачественность сока, у.е.	Вероятный выход сахара, т/га
Контроль	48,2	16,46	84,4	7,86
Мелафен	50,6	17,03	85,1	8,56
Бор	52,6	16,97	85,0	8,93
Мелафен + Бор	55,1	17,66	86,0	9,76

$HCP_{05}$  для урожайных данных:

$HCP_{05}$  Фактор А – Мелафен 2011 – 2,37; 2012 – 1,74; 2013 – 2,64.

$HCP_{05}$  Фактор Б – Бор 2011 – 2,37; 2012 – 1,74; 2013 – 2,64.

Таблица 2

Коэффициенты синергизма мелафена с бором на показатели урожайности и качества корнеплодов сахарной свёклы (2011–2013 гг.)

Показатель	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Средний показатель
Урожайность, т/га	0	0	0,14	0,02
Сахаристость, %	0	0,8	0,20	0,10
Доброкачественность сока, у.е.	0,21	0,44	0	0,18
Выход сахара, т/га	0	0	0,15	0,6

сложения эффектов, т.е. аддитивности [8, 9].

В связи с этим утверждаем, что изучаемые явления связаны не только с валентностью, но и с электронным строением атомов и ионов, т.е. с электронной конфигурацией, а также с распределением электронов по энергетическим уровням и подуровням, с этим связаны и химические свойства элементов и их соединений.

Учитывая, что калий и кальций относятся к s-семейству, валентные электроны на-

ходятся на s-подуровне К  $1s^22s^22p^63s^23p^64s^1$ ; Са  $1s^22s^22p^63s^23p^64s^2$ , т.е. у элементов данного семейства валентность совпадает с электронами внешнего энергетического уровня, поэтому эти элементы являются антагонистами.

Для элемен-

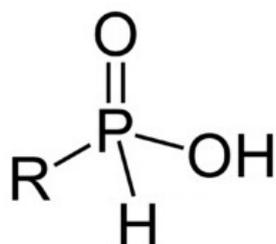


Рис. 1. Анион фосфиновой кислоты

тов d-семейства характерно заполнение 3d-энергетического подуровня от скандия до цинка четвертого периода и от иттрия до кадмия 4d-энергетического подуровня, у них происходит d-сжатие, при этом радиус атома у них почти не меняется, они чаще всего все двухвалентные, ионы как бы заполняют друг друга, например, Mn, Tc, Re радиусы атомов 1,30 Å, 1,36 Å и 1,37 Å. Аналогичная картина у всех остальных элементов d-семейства. В связи с этим химические свойства элементов и их соединений очень сходны, для них характерно не только взаимное усиление, но и взаимозаменяемость, поэтому они проявляют аддитивный или синергетический характер [10].

Дать оценку взаимодействия между микроэлементами в растениях очень сложно, особенно в почве, так как корневые системы растений выделяют не только органические кислоты, но и минеральные вещества, и проследить данные физиологические процессы практически не представля-

ется возможным [11, 12].

Многими авторами не наблюдается синергетического взаимодействия между микроэлементами [13], следует отметить, что в результате наших многолетних исследований на различных сельскохозяйственных культурах установлено противоположное, в связи с тем, что практически все микроэлементы являются d-элементами с сходной электронной конфигурацией. Данные элементы являются ключевыми в физиологии и биохимии растений, они являются кофакторами всех шести групп ферментов.

Для изучения взаимодействия элементов побочных подгрупп применяли внекорневые подкормки, особенно для элементов, которые в растениях не реутилизуются, т.е. повторно не используются.

Для элементов р-семейства, где происходит заполнение р-энергетического подуровня, их соединения с высшей степенью окисления проявляют кислотный характер, предлагаем анионное взаимодействие. Об этом свидетельствуют наши трёхлетние исследования по применению мелафена и борной кислоты в качестве внекорневых подкормок [14, 15, 16].

При указанном способе внесения элементы быстро включаются в метаболические процессы в растениях сахарной свёклы. Результаты исследований приведены в табл. 1 и 2.

Данные показывают, что взаимодействие по всем показателям происходит на уровне аддитивности в шести случаях, коэффициент синергизма равен нулю, это указывает на то, что физиологическое усиление происходит на уровне аддитивности, т.е. сложение эффектов. В десяти случаях физиологические процессы протекали на уровне усиления одного фактора другим, т.е. синергизма и наблюдается взаимодействие аниона фосфиновой кислоты (рис. 1) и борной кислоты ( $H_3BO_3$ ), т.е. за счёт фосфора и бора, которые входят в состав данных соединений (анионов). Имея сходные электронные конфигурации, они относятся в периодической системе к р-электронному семейству Бор –  $1s^22s^22p^1$  (рис. 2), Фосфор  $1s^22s^22p^63s^23p^3$  (рис. 3) [17].

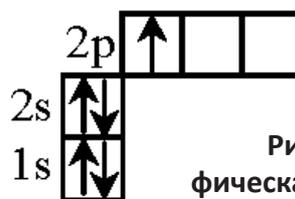


Рис. 2. Электронно - графическая формула бора

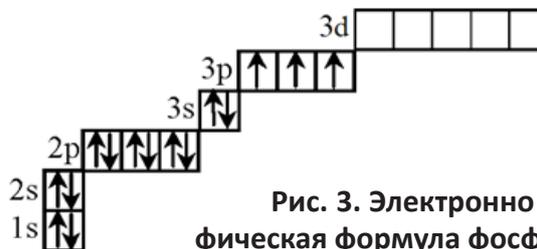


Рис. 3. Электронно - графическая формула фосфора

Исследования показывают, что для элементов с переменной степенью окисления, проявляющих в соединениях высшую степень окисления, характерно анионное взаимодействие.

Основными показателями качества корнеплодов при переработке на сахарном заводе является сахаристость и доброкачественность нормального и очищенного сока. Исследования доказывают, что внекорневая подкормка агроценоза сахарной свёклы микроэлементами-синергистами в сочетании с регулятором роста нового поколения мелафеном способствует улучшению биохимических показателей за счёт повышения содержания сахарозы и улучшению доброкачественности сока, в среднем сахаристость повышается на 0,1–1,7%, а доброкачественность сока под действием используемых факторов увеличивается с 85,4 до 88,4 у.е. (табл. 3). Данный показатель связан с содержанием сахарозы: чем больше сахарозы, тем лучше и доброкачественность сока. За счёт этих показателей сахар меньше будет переходить в мелассу, т.к. технологические качества определяются количеством сахара, переходящим в растворимую часть несахаров, в результате увеличится и валовой сбор сахара с единицы площади.

Нами изучен вопрос о взаимном влиянии используемых факторов на сахаристость и доброкачественность сока (табл. 3). При взаимодействии микроэлементов и регулятора роста мелафена на содержание сахара

Таблица 3

**Значения коэффициентов взаимодействия на основные показатели качества корнеплодов сахарной свёклы (2012–2014 гг.)**

№	Вариант	Сахаристость, %	Коэффициент взаимодействия	Доброкачественность сока, у.е.	Коэффициенты взаимодействия (0, +, -)
1	Контроль	16,4	–	85,4	–
2	Мелафен	16,8	–	86,5	–
3	Бор	16,8	–	86,3	–
4	Цинк	16,5	–	85,7	–
5	Марганец	16,5	–	85,8	–
6	Бор + Мелафен	17,4	0,2	86,7	–0,5
7	Цинк + Мелафен	17,0	0,16	86,7	–0,07
8	Марганец + Мелафен	17,0	0,16	86,7	–0,07
9	Цинк + Марганец	16,8	0,5	86,2	–0,36
10	Цинк + Бор	17,1	0,28	86,5	–0,09
11	Марганец + Бор	17,1	0,28	86,7	0
12	Цинк + Марганец + Бор	17,3	0,39	87,2	+0,11
13	Цинк + Марганец + Мелафен	17,3	0,39	87,3	+0,05
14	Цинк + Бор + Мелафен	17,7	0,30	87,5	–0,09
15	Марганец + Бор + Мелафен	17,8	0,35	87,7	0
16	Цинк + Марганец + Бор + Мелафен	18,1	0,38	88,4	+0,1

проявляется синергетический эффект, при этом коэффициент синергизма колеблется от 0,16 до 0,38.

По доброкачественности нормального сока абсолютный синергизм проявляется между микроэлементами и регулятором роста мелафеном.

Из полученных данных (табл. 3) видно, что в двух случаях наблюдается аддитивность, в шести – отрицательный синергизм, хотя во всех них все показатели выше контроля и отдельно взятого фактора, т.е. речь идёт об относительном синергизме.

Таким образом, взаимодействие ионов является весьма сложным явлением, включающим не только конкуренцию их при поступлении в растения, но и более глубокие биохимические и физиологические изменения в процессе метаболизма, поэтому изучение явлений антагонизма и синергизма необходимо для рационального при-

менения минеральных удобрений и создания равновесного соотношения элементов в растительном организме.

### Выводы

Результаты исследований показывают возможность применения двукратной внекорневой подкормки, так как происходит усиление синергетического эффекта по показателям сахаристости и доброкачественности нормального сока, при этом установлено взаимодействие между анионами борной и фосфиновой кислот.

### Библиографический список

1. Филипцова, Г.Г. Основы биохимии растений: курс лекций / Г.Г. Филипцова, И.И. Смолич. – Мн.: БГУ, 2004. – 136 с.
2. Epstein, Emanuel. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives / Emanuel Epstein, Arnold J. Bloom. 2 edition. – Sinauer Associates, 2004. – 400 p.

3. Власюк, П.А. Научные разработки по микроэлементам и перспективы их дальнейшего развития в УССР и МССР / Сб.: Микроэлементы в окружающей среде. – Киев: Наукова Думка, 1980. – С. 5-13.
4. Якушкина, Н.И. Антагонизм ионов. Физиология растений: учебник для студентов вузов / Н.И. Якушкина, Е.Ю. Бахтенко. – М.: ВЛАДОС, 2004. – Гл. IV.4. – С. 218-220.
5. Гуральчук, Ж.С. Взаимодействие магния и цинка в питании и обмене веществ растений. В кн.: Физиологические основы повышения эффективности минерального питания растений / Ж.С. Гуральчук, И.Н. Гудков. – Киев: Наукова Думка, 1987. – С. 84-89.
6. Охрименко, М.Ф. К вопросу о влиянии на растение сочетаний микроэлементов / М.Ф. Охрименко, Л.М. Кузьменко, А.А. Сивак. – Сб.: Микроэлементы в обмене веществ и продуктивности растений. – Киев: Наукова думка, 1984. – С. 16-20.
7. Лебедев, С.И. Антагонизм ионов и уравновешенные растворы. Синергизм и аддитивность / С.И. Лебедев / Физиология растений. – М.: Агропромиздат, 1988. – Гл. 5. – С. 313-315.
8. Костин, О.В. Взаимодействие ионов в сельскохозяйственных растениях / О.В. Костин, В.А. Исайчев, В.И. Костин // Вестник РАСХН. – 2013. - №3. - С. 21-23.
9. Костин, В.И. Элементы минерального питания и росторегуляторы в онтогенезе сельскохозяйственных культур / В.И. Костин, В.А. Исайчев, О.В. Костин. – М.: Колос, 2006. – 290 с.
10. Каюмов, М.К. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений: учебное пособие / М.К. Каюмов. – М.: ФГОУ ВПО Росс. гос. аграр. заоч. университет, 2004. – 190 с.
11. Сабинин, Д.А. Физиологические основы питания растений Д.А. Сабинин. – М.: АН СССР, 1955. – 512 с.
12. Ягодин Б.А., Максимова Е.Н., Сабина С.М. Проблема микроэлементов в биологии / Б.А. Ягодин, Е.Н. Максимова, С.М. Сабина // Агрехимия. – 1988. - №7. - С. 126-134.
13. Кобота-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кобота-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
14. Kostin, V.I. Prospects of use of growth regulators of new generation and microelements-synergists in technology of cultivation of a sugar beet / Kostin V.I., Dozorov A.V., Isaychev V.A., Oshkin V.A. // Proceedings of International scientific and technical Conference named after Leonardo da Vinci. №2. – Berlin: Wissenschaftliche Welt e. V., 2014. – P. 41-50.
15. Костин, В.И. Эффективность нереутилизуемых микроэлементов в свеклосахарном производстве / В.И. Костин, В.А. Ошкин // Сахарная свёкла. – 2014. - №2. – С. 40-41.
16. Костин, В.И. Синергетическое действие микроэлементов при внекорневой подкормке сахарной свёклы / В.И. Костин, В.А. Ошкин // Актуальные вопросы образования и науки: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 30 декабря 2013 г.: в 14 частях. – Тамбов: Издательство ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2014. – Часть 4. – С. 81-82.
17. Биохимия растений: учебное пособие / Л.А. Красильникова, О.А. Авксентьева, В.В. Жмурко, Ю.А. Садовниченко, под ред. Л.А. Красильникова. – Ростов-на-Дону: Феникс; Харьков: Торсинг, 2004. – 224 с.