

# Формирование запрограммированного урожая сахарной свёклы путём воздействия основными элементами регулирования

**Ш.О. БАСТАУБАЕВА**, канд. с/х. наук

**М.Б. БЕКБАТЫРОВ**, канд. с/х. наук

**Л.К. ТАБЫНБАЕВА**, д-р философ. наук (e-mail: tabynbaeva.lyaylya@mail.ru)

**А.М. БУРАХОДЖА**, магистрант

ТОО «Казахский научно-исследовательский институт земледелия и растениеводства»

## Введение

На фоне стремительно меняющегося мира развитие несёт нам не только определённые блага, но и различные новые угрозы. Человечество подошло к такой черте, что продолжать игнорировать угрозы, связанные с продовольственной безопасностью, становится невозможным [1–4]. Многие международные эксперты говорят об окончании нефтяной эпохи, и в ближайшие 40 лет проблема нехватки продовольствия выйдет на первое место в мире. Нарастающие процессы глобализации, мировая пандемия обостряют проблему продовольственной безопасности и для нашей страны. По территории Казахстан занимает девятое место среди государств мира; площадь земель, пригодных для ведения сельскохозяйственного производства, составляет более 222,4 млн га. В то же время на сельскохозяйственной территории страны господствует бесперспективное экстенсивное земледелие, базирующееся на эксплуатации естественного плодородия почв [5].

Неадаптивность применяемых технологий производства растениеводческой продукции, базирующихся на «уравнительных» принципах без учёта пространственной и временной изменчивости факторов среды, непосредственно влияющих на продуктивность агроэкосистем, препятствует решению наиболее остро стоящей

перед отраслью задачи – устойчивого роста производства [6, 7]. Поставленную задачу можно решить путём внедрения элементов «гибкого, или адаптивного, земледелия» на основе маневрирования и управления продуктивностью посевов с учётом часто меняющихся погодных условий, агрохимической характеристики участка, локальных особенностей каждого поля для получения запрограммированных урожаев [8–10].

Сахарная свёкла – одна из самых важных культур в мировом сельском хозяйстве, требующих высокой интенсификации производства [11–13]. В технологии её возделывания нет малозначимых или второстепенных элементов. Западные европейские страны благодаря освоению новых технологий к началу XXI в. перешли рубеж урожайности сахарной свёклы в 120–130 т/га и продолжают его наращивать, а среднемировой показатель достиг 900–1000 ц/га [14, 15]. Мировой рекорд урожайности этой культуры составил 196,7 т/га (при содержании сахара 16 %) в Чили в 2016 г. [16]. Исследованиями учёных Казахского НИИ земледелия и растениеводства (КазНИИЗиР) разработана технология получения урожайности корнеплодов около 800 ц/га при оптимизированном сочетании всех регулируемых факторов жизни растений: оптимального срока посева, предпосевной влажности почвы 70–80–60 %

от НВ, уровня минерального питания  $N_{120} P_{80} K_{80}$ , густоты насаждения растений 80 тыс/га. Однако в естественных условиях часто наблюдаются отклонения от оптимального роста и развития растений, вызванные отрицательным влиянием экстремальных климатических условий, характерных для юго-восточного региона (основная зона свеклосеяния): возврат заморозков, засушливость, большая амплитуда колебаний температуры воздуха. Производственные ситуации также могут иметь негативные последствия. Так, из-за несоблюдения рекомендуемой технологии возделывания урожайность сахарной свёклы не превышает 350–400 ц/га, т. е. не в полной мере реализуются заложенные продуктивные возможности культуры. В связи с этим целью исследований является разработка технологической модели и алгоритмов получения потенциально возможных урожаев сахарной свёклы при управлении продукционным процессом на каждом конкретном этапе роста и развития растений для различного уровня интенсификации.

## Методика исследований

С целью дальнейшей оптимизации основных агротехнических приёмов, рассчитанных на получение определённого уровня урожайности сахарной свёклы (на примере отечественного гибрида Аксу), были заложены много-

факторные опыты на научном поле-вом стационаре КазНИИЗиР. Площадь научного стационара, расположенного в координатах 43°13'09"; 76°41'17" в предгорно-степной зоне, составляет 38 га, и по почвенно-климатическим параметрам опытный участок является типичным для орошаемых земель юго-востока Казахстана. В структуре посевных площадей самую большую часть занимали озимая пшеница, кукуруза на зерно, сахарная свёкла, а также многолетние травы. На данном поле соблюдаются научно обоснованные схемы чередования сельскохозяйственных культур (севооборот) и плодосмен, что является важнейшим приёмом соблюдения культуры земледелия, подавления численности вредителей и предупреждения болезней растений. Опыты заложены на фоне различного режима питания и орошения при различной густоте насаждения растений и различных сроках сева, уборки, в которых имитировалось воздействие различных неблагоприятных для жизни растений факторов (водный, пищевой, световой, тепловой режимы).

Для изучения реакции растений сахарной свёклы на условия внешней среды (нерегулируемые факторы продуктивности — солнечную радиацию, температуру, осадки, относительную влажность воздуха) в течение вегетации по фазам роста и развития растений в онтогенезе проводили определение ряда показателей. Основу урожая составляют энергетические ресурсы солнечной радиации, причём только её фотохимически активная часть. Нами был рассчитан приход фотосинтетически активной радиации (ФАР) по формуле Х.Г. Тооминга, Б.И. Гуляева [17] с использованием региональных коэффициентов. Расчёты проводили по формуле

$$\Sigma Q_{\text{ФАР}} = 0,41\Sigma S + 0,62\Sigma D,$$

где  $Q_{\text{ФАР}}$  — сумма прихода ФАР на изучаемую поверхность, МДж/м<sup>2</sup>;  $\Sigma S$  — сумма прямой солнечной радиации, МДж/м<sup>2</sup>;  $\Sigma D$  — сумма рассеянной солнечной радиации, МДж/м<sup>2</sup>.

Поливную норму определяли по дефициту влаги в почве между верхним пределом влажности (наименьшая влагоёмкость — НВ) и нижним её пределом. Фенологические наблюдения и отбор растительных образцов проводились в зависимости от внутривидовой вариативности в период вегетации растений (начало и полное наступление фазы).

Для определения количественных и качественных параметров роста и развития сахарной свёклы проведено изучение фотосинтетической деятельности и продуктивности посевов: накопление сырой и сухой биомассы, площадь ассимиляционного аппарата, уровень усвоения лучистой энергии солнца ( $K_{\text{ФАР}}$ ), величина коэффициента хозяйственной деятельности посева. При этом определение показателей фотосинтетической деятельности и продуктивности агробиоценоза культур проводили по унифицированной классической методике А.А. Ничипорович [18]: накопление сырой и сухой биологической массы — весовым методом, площадь ассимиляционного аппарата — методом высечек. Коэффициент использования ФАР посевами культур определялся по формуле

$$K_{\text{ФАР}} = \frac{M \times q \times 100}{\Sigma Q_{\text{ФАР}}},$$

где  $K_{\text{ФАР}}$  — коэффициент использования ФАР, %;  $M$  — масса сухого биологического урожая, кг/м<sup>2</sup>;  $\Sigma Q_{\text{ФАР}}$  — сумма прихода ФАР за вегетационный период культур, МДж/м<sup>2</sup>;  $q$  — калорийность 1 кг сухого вещества, МДж/кг.

Сумма среднесуточных температур по месяцам и фазам вегетационного периода определялась по методике Д.И. Шашко [19].

С учётом количества атмосферных осадков за вегетационный период и с целью проведения очередного полива изучаемых культур систематически определялась влажность метрового слоя почвы.

Статистическая обработка данных выполнена с использованием программной среды R (R Version 3.6.1 (2019-07-05) «Action of the Toes») с открытым исходным кодом. Выполнены однофакторный и многофакторный дисперсионные анализы (ANOVA).

В исследованиях были заложены следующие варианты опытов:

- по внесению минеральных удобрений (без удобрений,  $N_{60}P_{40}K_{40}$ ;  $N_{180}P_{120}K_{120}$ );
- густоте насаждений растений: 40 и 120 тыс/га;
- срокам посева: ранний, поздний;
- срокам уборки: ранний, поздний.

Изучение формирования урожайности сахарной свёклы за период 2014–2016 гг. проводилось в зависимости от температуры воздуха в течение вегетации и густоты насаждения растений 40 тыс/га в вариантах с недостаточным увлажнением почвы. Анализ позволил выявить некоторые закономерности влияния ряда факторов на продуктивность культуры.

В 2014 и 2015 гг. посев раннего срока проводили 6 апреля, позднего — через 31 день, 6 мая; в 2016 г. из-за возврата холодов пересев произвели 6 мая (ранний сев) и поздний срок сева отодвинулся до 9 июня. Урожайность корнеплодов при внесении  $N_{180}P_{120}K_{120}$  с густотой насаждения 40 тыс/га составляет 578 ц/га в 2014 г. при раннем сроке посева, 596 ц/га в 2015 г. и 447 ц/га в 2016 г.

Методология программирования урожаев сахарной свёклы имеет своей целью определить степень влияния на растения фиксированных и случайных факторов путём разработки хозяйственных и агротехнических мероприятий,

при своевременном и точном выполнении которых наиболее вероятно получение экономически оправданного урожая. В связи с этим для получения достоверных выводов о роли различных факторов в формировании урожая необходимо группировать данные полевых опытов соответственно их изменчивости. В качестве одного из основных элементов метеоусловий, характеризующих их изменчивость, была принята средняя температура воздуха за период вегетации сахарной свёклы, которая существенно влияла на интенсивность физиологических процессов, продолжительность периода корнеплодов и влагообеспеченность почв.

## Результаты исследований

Формирование урожая сахарной свёклы имело отличительные особенности в связи с температурными условиями вегетационного периода. При раннем сроке посева за годы исследований урожайность варьировала от 447 до 596 ц/га. При позднем сроке посева более высокий уровень урожайности — 465 ц/га получен в 2014 г. при температуре 16,9 °С, повышение температуры

до 20,5 °С в 2015 г. снизило урожайность до 411 ц/га. Поздний срок посева 2016 г., проведённый в июне, резко снизил урожайность корнеплодов почти вдвое — 236 ц/га вследствие высокой среднесуточной температуры воздуха и малого количества осадков (рис. 1).

Для прорастания семян в годы исследований потребовалась сумма температур в пределах 103,1–113,1 °С. Но несмотря на то, что сумма температур приблизительно одинакова, среднесуточная температура за этот период колебалась

от 6,29 до 20,78 °С, а вместе с температурой продолжительность периода изменялась от 5 до 17 дней. На раннем сроке посева среднесуточная температура воздуха за период «посев — всходы» равнялась 9,4 °С, урожайность корнеплодов составила 596 ц/га, т. е. данная температура оказалась наиболее благоприятной; на позднем сроке посева оптимальной оказалась температура 12,51 °С и продолжительность периода 8 дней для получения урожая 465 ц/га (табл. 1). Высокая температура воздуха 20,8 °С в период роста корнеплода

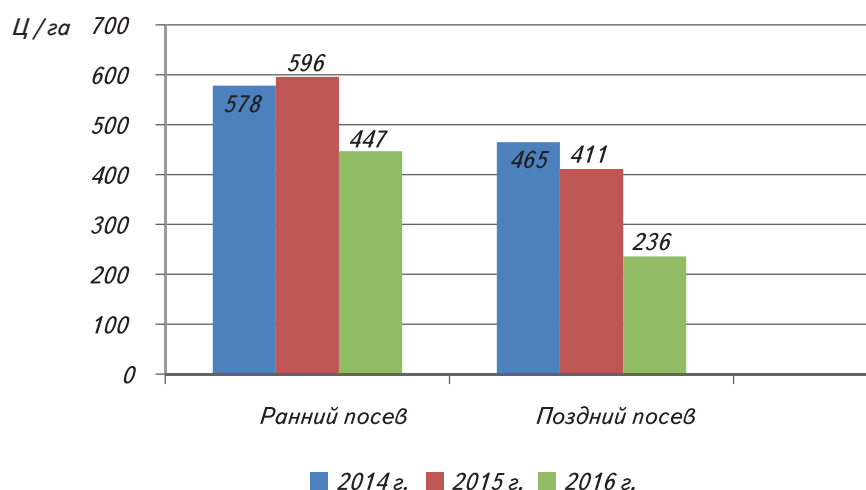


Рис. 1. Влияние сроков посева на урожайность сахарной свёклы

Таблица 1. Гидротермические условия по периодам роста и развития сахарной свёклы

| Период развития                         | 2014 г.         |             |                      |            | 2015 г.         |             |                      |            | 2016 г.         |             |                      |            |
|-----------------------------------------|-----------------|-------------|----------------------|------------|-----------------|-------------|----------------------|------------|-----------------|-------------|----------------------|------------|
|                                         | Количество дней | Сумма t, °С | Среднесуточная t, °С | Осадки, мм | Количество дней | Сумма t, °С | Среднесуточная t, °С | Осадки, мм | Количество дней | Сумма t, °С | Среднесуточная t, °С | Осадки, мм |
| Ранний срок посева                      |                 |             |                      |            |                 |             |                      |            |                 |             |                      |            |
| Посев — всходы                          | 17              | 107         | 6,29                 | 93,5       | 11              | 103         | 9,4                  | 19,9       | 6               | 113,1       | 18,8                 | —          |
| Три пары настоящих листьев              | 31              | 391         | 12,6                 | 135        | 27              | 404         | 14,9                 | 54,7       | 22              | 399,8       | 18,4                 | 12,9       |
| Смыкание в междурядьях — ранняя уборка  | 73              | 1449        | 19,8                 | 18,0       | 86              | 1996        | 23,2                 | 116        | 70              | 1558        | 22,3                 | 63,3       |
| Смыкание в междурядьях — поздняя уборка | 117             | 2017        | 17,2                 | 29,3       | 130             | 2715        | 20,8                 | 127        | 114             | 2253        | 19,7                 | 79,9       |
| Поздний срок посева                     |                 |             |                      |            |                 |             |                      |            |                 |             |                      |            |
| Посев — всходы                          | 8               | 107         | 12,5                 | 15,4       | 7               | 109         | 15,6                 | 30,7       | 5               | 104         | 20,8                 | —          |
| Три пары настоящих листьев              | 24              | 404         | 16,8                 | 20,6       | 20              | 405         | 20,2                 | 43,4       | 18              | 393         | 21,8                 | 13,9       |
| Смыкание в междурядьях — ранняя уборка  | 53              | 1034        | 19,5                 | 18,1       | 63              | 1438        | 22,8                 | 99,3       | 43              | 951         | 22,1                 | 17,4       |
| Смыкание в междурядьях — поздняя уборка | 97              | 1600        | 16,3                 | 29,3       | 107             | 2157        | 20,2                 | 109        | 87              | 1646        | 18,92                | 34,0       |

на раннем сроке посева значительно замедляет темпы повышения урожайности корнеплодов, и через 20 дней после смыкания листьев в междурядьях она снижается на 50 ц/га, а через 70 дней — на 30 ц/га по сравнению с той урожайностью, которая формируется при температуре воздуха 17,5 °С. Опасность резкого снижения урожая возникает на посевах, подвергшихся отрицательному влиянию поздних холодов в весенний период (в мае) и ранних заморозков (в сентябре). При появлении всходов свёклы до 25 апреля и уборке урожая во второй декаде октября средняя температура воздуха в 2014 г. составила 15,5 °С, в 2015 г. — 19,1 °С и была благоприятна для получения высокого урожая. Это подтверждает необходимость сева в ранние сроки — в первой декаде апреля. Определяя

срок посева, необходимо помнить, что запаздывание с севом всего на один день ведёт к потере урожайности корнеплодов на 5–6 ц/га, которые невозможно компенсировать увеличением длины вегетационного периода за счёт уборки в более поздние сроки [17]. Но при проведении посева в ранние сроки необходимо иметь прогноз метеоусловий на период появления всходов, так как в предгорной зоне велика вероятность возврата холодов, а именно в конце апреля — начале мая.

Для оценки влияния на урожайность сахарной свёклы таких факторов, как сроки посева, внесение различных норм удобрений, уровень влажности почвы и густота посева, проведён многофакторный дисперсионный анализ ANOVA. Результаты четырёхфак-

торного дисперсионного анализа позволили установить достоверно значимую разницу значений урожайности во всех группах факторов в пределах  $p = 1.54e-22-3.99e-4$  (рис. 2, табл. 2).

Значение  $F$ -критерия показывает, что фактор срока посевов является самым значимым среди всех других на уровне  $F = 1120,14$ . Следующим по значимости фактором по вкладу в формирование урожая сахарной свёклы в опыте является влажность почвы  $F = 653,79$ .

Влияние метеоусловий особенно отразилось на делянках с дефицитом увлажнения. Поддержание такой предполивной влажности почвы на уровне 60 % от НВ требует меньшего количества поливов с большими поливными нормами (1020–1260 м³/га) с межполивными периодами 30–37 дней; в 2014 г. потребовалось проведение трёх поливов в количестве 1220–1260 м³/га. Максимум водопотребления приходится на конец июля — начало августа. Потребление весенних запасов почвенной влаги при позднем сроке уборки на 8–10 % выше, чем при раннем. Была установлена такая закономерность: в годы с большим количеством осадков и равномерным распределением их по периоду вегетации потребе-

Таблица 2. Результаты многофакторного дисперсионного анализа ANOVA по значениям урожайности сахарной свёклы

| Параметр                                   | Сумма квадратов (SS) | Степень свободы (Df) | F-value | Pr (> F)    |
|--------------------------------------------|----------------------|----------------------|---------|-------------|
| Sowing (Сроки посева)                      | 400463,00            | 1,0                  | 1120,14 | 3.99e-43*** |
| Moisture (Влажность почвы)                 | 233738,00            | 1,0                  | 653,79  | 5.86e-36*** |
| Fertilizer (Удобрения)                     | 118747,00            | 2,0                  | 166,07  | 1.75e-26*** |
| Density (Густота посева)                   | 77552,00             | 1,0                  | 216,92  | 1.54e-22*** |
| Residuals (Остатки)                        | 23596                | 66                   |         |             |
| Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' |                      |                      |         |             |

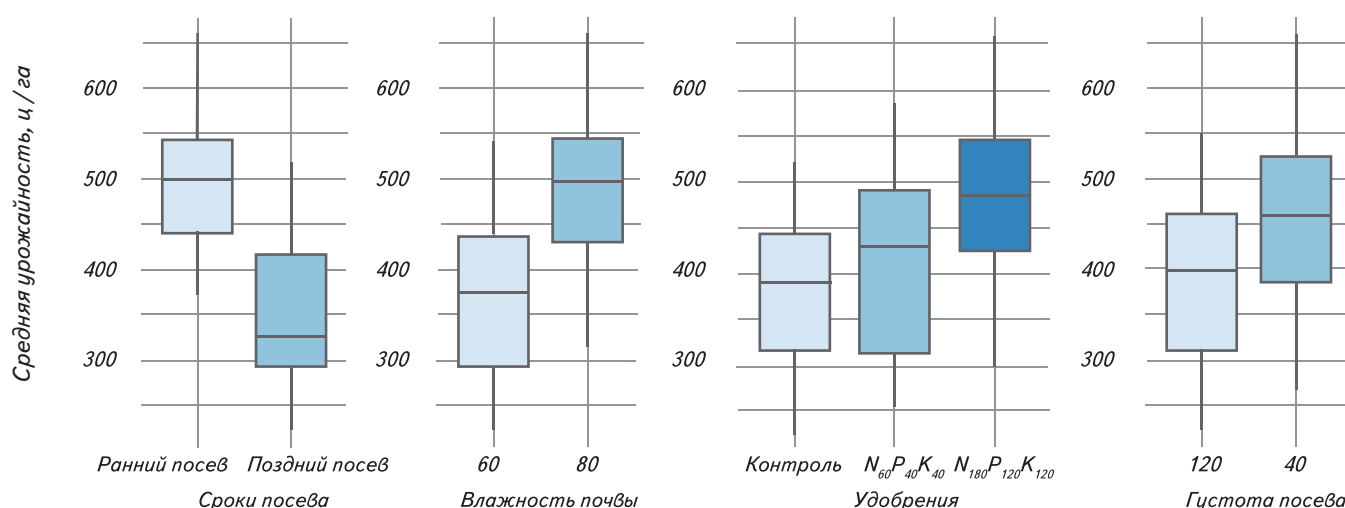


Рис. 2. Результаты четырёхфакторного дисперсионного анализа ANOVA по срокам посева сахарной свёклы (ранний, поздний), вариантам внесения удобрений, густоты посева и влажности почвы



ние весенних влагозапасов почвы увеличивалось, и доля их в общем водопотреблении возрастала до 12–20 %, а в засушливые годы снижалась до 6–14 %.

Как видно из табл. 3, на выращивание 1 т корнеплодов свёклы на раннем сроке посева требовалось от 102 до 228 м<sup>3</sup> воды, на позднем – от 116 до 405 м<sup>3</sup>. Однофакторный дисперсионный анализ по проверке значимости различий значений коэффициентов водопотребления между ранним и поздним сроками посева показал, что различия достоверно значимы на уровне  $p = 3.263e-05$  (табл. 4, рис. 3а) и при раннем посеве коэффициенты водопотребления ниже.

На фоне применения минеральных удобрений количество влаги на 1 т урожая расходуется на 12–15 % меньше, чем в неободренном варианте. Проведение однофакторного дисперсионного анализа подтвердило разницу между коэффициентами водопотребления по различным фонам минеральных удобрений на уровне  $p = 0,046$  (табл. 4, рис. 3б).

Наименьшим оказался коэффициент водопотребления при сочетании избыточного увлажнения почвы, полуторной дозы удобрений, раннем сроке посева, позднем сроке уборки и густоте насаждения растений 40 тыс/га и составил 102 м<sup>3</sup>/га.

Особенностью сахарной свёклы является высокая потребность в элементах питания. На каждые 100 ц корнеплодов с ботвой при уборке сахарная свёкла выносит из почвы 40–61 кг азота, 15–20 кг фосфора и 54–75 кг калия. Нашими исследованиями установлено, что в варианте с сочетанием всех благоприятных факторов возделывания вынос элементов питания при раннем сроке уборки (урожайность 520 ц/га) по азоту в 1,6, фосфору в 1,3 и калию в 1,9 раза выше, чем при позднем сроке уборки (урожайность 652 ц/га). По данным табл. 5 можно судить

о величине выноса питательных веществ сахарной свёклой при различных сочетаниях параметров агротехнических факторов. В таблице два варианта: с лучшим и худшим сочетанием факторов. Сопоставление результатов по выносу элементов питания при наи-

большей (652 ц/га) и наименьшей (156 ц/га) урожайности показало, что при максимальной её величине вынос по азоту в 1,44, фосфору в 1,8 и калию в 1,5 раза больше, чем при низкой урожайности.

Фотосинтез как процесс жизнедеятельности растений неотделим

Таблица 3. Коэффициенты водопотребления в зависимости от агроприёмов

| Срок посева | Срок уборки | Уровень увлажнения, % от НВ | Фон минерального питания            |     |                                                 |     |                                                    |     |
|-------------|-------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----|-------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------|-----|
|             |             |                             | Без удобрений                       |     | N <sub>60</sub> P <sub>40</sub> K <sub>40</sub> |     | N <sub>180</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> |     |
|             |             |                             |                                     |     |                                                 |     |                                                    |     |
|             |             |                             | Густота насаждения растений, тыс/га |     |                                                 |     |                                                    |     |
|             |             |                             | 40                                  | 120 | 40                                              | 120 | 40                                                 | 120 |
| Ранний      | ранний      | 60                          | 177                                 | 228 | 171                                             | 197 | 141                                                | 174 |
|             |             | 80                          | 149                                 | 163 | 125                                             | 141 | 108                                                | 126 |
|             | поздний     | 60                          | 153                                 | 174 | 138                                             | 157 | 120                                                | 144 |
|             |             | 80                          | 129                                 | 140 | 114                                             | 124 | 102                                                | 112 |
| Поздний     | ранний      | 60                          | 312                                 | 405 | 259                                             | 312 | 211                                                | 256 |
|             |             | 80                          | 226                                 | 262 | 194                                             | 213 | 167                                                | 193 |
|             | поздний     | 60                          | 218                                 | 259 | 191                                             | 220 | 163                                                | 195 |
|             |             | 80                          | 146                                 | 172 | 132                                             | 189 | 116                                                | 134 |

Таблица 4. Результаты однофакторного дисперсионного анализа ANOVA по коэффициентам потребления сахарной свёклы

| Параметр                                            | Сумма квадратов (SS) | Степень свободы (Df) | F-value | Pr (> F)     |
|-----------------------------------------------------|----------------------|----------------------|---------|--------------|
| Fertilizer (Удобрения)                              | 22636                | 2                    | 3,30    | 0,046*       |
| Residuals                                           | 154503               | 45                   |         |              |
| Sowing (Сроки посева)                               | 55897                | 1                    | 21,2    | 3.263e-05*** |
| Residuals (Остатки)                                 | 121242               | 46                   |         |              |
| Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ |                      |                      |         |              |

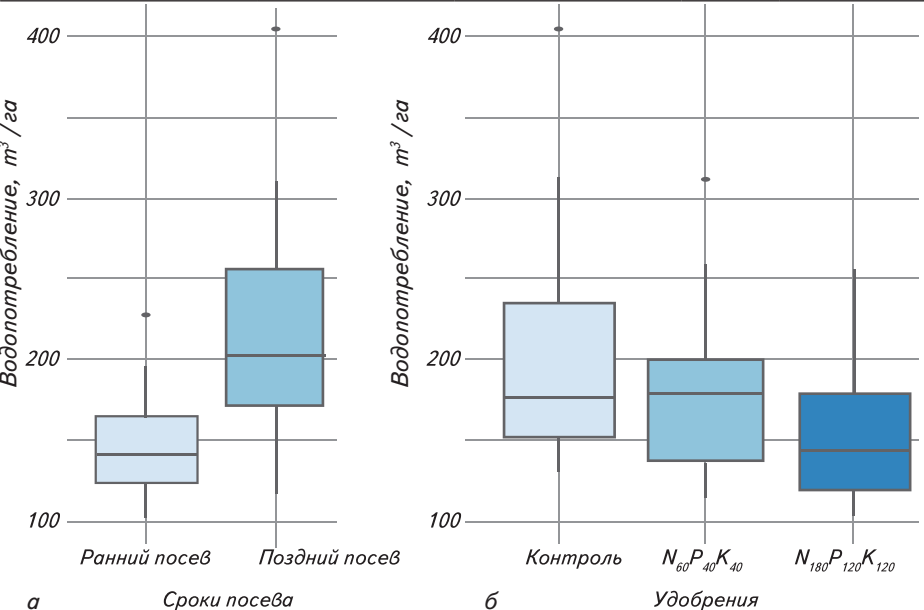


Рис. 3. Результаты однофакторного дисперсионного анализа ANOVA по коэффициентам водопотребления в зависимости от сроков посева и фона минеральных удобрений

от условий внутреннего обмена веществ и взаимообусловлен с окружающей средой. Исходя из этого, нами было изучено выявление особенностей хода фотосинтетической деятельности сахарной свёклы в экстремальных и производственных ситуациях, воспроизведённых в многофакторном опыте. Формирование урожая сахарной свёклы в значительной степени зависит от величины листовой поверхности. По данным наших исследований, максимальные по величине листья сахарная свёкла образует в конце июля — начале августа, на данный момент их площадь составляет 30,8–49,9 тыс. м<sup>2</sup>/га. При позднем сроке сева вегетационный период укорачивается, что приводит к снижению величины листовой поверхности до 23,9–45,9 тыс. м<sup>2</sup>/га, или на 9–25 % меньше, чем при раннем сроке посева. Внесение минеральных удобрений N<sub>60</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> способствовало увеличению площади на 3–5 тыс. м<sup>2</sup>/га, а полуторная норма (N<sub>180</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>) — на 6–9 тыс. м<sup>2</sup>/га. Максимальные значения площади листовой поверхности в загущенном посеве на 6–9 тыс. м<sup>2</sup>/га больше, чем в вариантах с изреженной густотой насаждения (40 тыс/га). При рассмотрении площади листьев в пересчёте на одно растение получается обратная закономерность, в изреженном посеве ассимиляционная поверхность одного растения в 2,2–2,5 раза больше, чем в загущенном. Объясняется это следующим: в изреженном посеве площадь питания одного растения больше, чем в загущенном, что почти полностью исключает

конкуренцию за пищу, влагу и свет и способствует развитию мощной листовой поверхности растений.

Результаты исследований физиологических показателей гибрида сахарной свёклы Аксу показали, что с увеличением ассимилирующей поверхности величина фотопотенциала возрастает и достигает максимального значения 0,59 млн м<sup>2</sup>/га в день во второй половине июля, затем идёт постепенное снижение. Благоприятное сочетание факторов (ранний срок посева, поздний срок уборки, избыточный фон увлажнения, полуторная норма удобрений и густота насаждения растений 120 тыс/га) способствовало накоплению до 210 ц/га сухой биомассы сахарной свёклы. Накопление сухого вещества на одно растение в изреженном посеве в среднем по опыту в 2,6–2,8 раза больше и продуктивность фотосинтеза — на 0,4–0,6 г/м<sup>2</sup> в сутки выше, чем при загущении.

Результаты математической обработки многофакторного опыта по сахарной свёкле методом расщеплённых делянок позволили определить долю участия каждого фактора в формировании урожая. Наибольшее влияние на продукционный процесс сахарной свёклы оказали факторы: срок сева — 35,53 %, срок уборки — 18,15 %, режим орошения — 15,6 %. Меньшее воздействие: срок прорывки — 12,4 % и густота насаждения — 3,71 %. Для формирования запланированных уровней урожая корнеплодов сахарной свёклы были изучены физиологические процессы гибрида Аксу,

которые позволили установить закономерности роста и развития растений при сочетании оптимальных факторов возделывания на светло-каштановых орошаемых почвах (табл. 4). Для достижения урожая корнеплодов сахарной свёклы 700–800 ц/га формирования мощной биомассы — 204 ц/га, фотосинтетического аппарата значительных размеров (53,2 тыс. м<sup>2</sup>/га), активно функционирующих (5,3 г/м<sup>2</sup> в сутки), на высоком фоне поглощения приходящей энергии фотосинтетически активной радиации (K<sub>ФАР</sub> 2,0 %) и поддержания оптимального уровня увлажнения почвы 70–80–60 % необходимо внести норму минеральных удобрений N<sub>180</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>. Установлено, что на формирование урожая корнеплодов сахарной свёклы от 226 до 652 ц/га расходуется: азота 32–215, фосфора 12–68 и калия 50–380 кг/га, т. е. необходимо вносить удобрения дифференцированно в зависимости от уровня применяемой технологии на запланированную урожайность.

### Заключение

Своевременное и качественное выполнение агроприёмов и строгий контроль состояния растений позволили сформировать запланированный урожай при оптимальном сочетании регулируемых факторов. Требования к современным технологиям возделывания сахарной свёклы таковы, что они должны быть дифференцированными и гибкими, с учётом часто изменяющихся погодных условий, содержания элементов питания в почве и производственных ситуаций.

Статья выполнена в рамках бюджетной программы 217 МОН РК, НИР по теме «Разработка и внедрение приёмов управления продукционным процессом сахарной свёклы для технологий различного уровня интенсификации в системе точного земледелия»

**Таблица 5. Вынос и потребление азота, фосфора и калия урожаем сахарной свёклы**

| Варианты опыта | Урожайность, ц/га | Потребление на 1 т |        |       | Вынос элементов питания, кг/га |        |       |
|----------------|-------------------|--------------------|--------|-------|--------------------------------|--------|-------|
|                |                   | Азот               | Фосфор | Калий | Азот                           | Фосфор | Калий |
| Ранняя уборка  | 520               | 2,05               | 0,5    | 4,7   | 178                            | 40     | 338   |
| Поздняя уборка | 652               | 0,83               | 0,35   | 1,86  | 113                            | 31     | 175   |
| Ранняя уборка  | 156               | 0,80               | 0,32   | 1,83  | 78                             | 17     | 119   |
| Поздняя уборка | 226               | 0,41               | 0,22   | 2,90  | 59                             | 15     | 118   |

## Список литературы

1. *Ишханов, А.В.* Оценка мировых земельных ресурсов через призму глобальной продовольственной проблемы / А.В. Ишханов, Е.Ф. Линкевич, Д.А. Кононов // Стратегия развития экономики. — 2011. — № 47 (140).
2. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture / D. Tilman, C. Balzer, J. Hill, B.L. Belfort // PNAS December 13, 2011 108 (50) 20260–20264; <https://doi.org/10.1073/pnas.1116437108> (Дата обращения: 17.06.2021)
3. *Смирнова, А.С.* Проблема продовольственной безопасности в странах третьего мира как одна из важнейших проблем экономической безопасности / Смирнова А.С., Боздунова А.А., Ляшкова Е.С. // Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство : сб. науч. статей по итогам XI Международной научной конференции. — 2019. С. 233–234.
4. *Жученко, А.А.* Вызовы XXI столетия мировой и отечественной продовольственной безопасности / А.А. Жученко // Агропродовольственная политика России. — 2012. — № 1. — С. 6–9.
5. Программа по развитию агропромышленного комплекса в Республике Казахстан на 2013–2020 годы (Агробизнес–2020). — Астана, 2012.
6. *Ганусевич, Ф.Ф.* От программирования урожаев к точному земледелию / Ф.Ф. Ганусевич // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. — 2009. — № 16. — С. 35–38
7. *Pedersen, S.M.* Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives / S.M. Pedersen, K. Martin (eds). — Springer International Publishing AG, 2017. — 282 p.
8. *Филин, В.И.* Программирование урожая: от идеи к теории и технологиям возделывания сельскохозяйственных культур / В.И. Филин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса : Наука и высшее профессиональное образование. — 2014. — № 3 (35). — С. 26–36.
9. *Лысенко, В.Ф.* Оперативное зондирование посевов как инструмент для программирования урожая / В.Ф. Лысенко, А.А. Опышко, Д.С. Комарчук, Н.А. Пасичник // Инновации в сельском хозяйстве. — 2016. — № 3 (18). — С. 89–96.
10. *Лысенко, В.Ф.* Оперативное дистанционное зондирование посевов как инструмент для программирования урожая / В.Ф. Лысенко, А.А. Опышко, Д.С. Комарчук, Н.А. Пасичник // Вестник Брестского государственного технического университета. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. — 2016. — № 2 (98). — С. 144–147.
11. *Иванов, Е.* Сахарная свёкла в России: быть или не быть? / Е. Иванов // Сахарная свёкла. — 2013. — № 7. — С. 8–11.
12. *Phipps, R.H.* Effect of the incremental replacement of cereal grain with sugar beet feed on lactational performance of high yielding cows offered maize-silage based diets / R.H. Phipps, A.K. Jones, D.E. Beever, M.W. Witt // Proceedings British Society of Animal Science Annual Meeting. — York, 2003. — P. 128.
13. *Biancardi, E.* Genetics and breeding of sugar beet / E. Biancardi, L.G. Campbell, M. de Biagi, G.N. Skarakis. — Enfield, new Hampshire, USA : Science Publishers, 2005. — P. 367.
14. *Fischer, G.* Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and results / G. Fischer, H. van Velthuisen, M. Shah, F. Nachtergaele. — RR-02-002, IASA, Laxenburg and FAO, Rome, 2002.
15. *Řezbová, H.* Sugar beet production in the European Union and their future trends / H. Řezbová, A. Beřlová, O. Škubna // Agris on-line Papers in Economics and Informatics. — 2013. — № 4. — P. 165–174.
16. Hile: yield of sugar beet 2013–2019. — Published by Bruna Alves. — 2020. — Apr. 7.
17. *Тооминг, Х.Г.* Методика измерения фотосинтетически активной радиации / Х.Г. Тооминг, Б.И. Гуляев. — М. : Наука, 1967. — 143 с.
18. *Ничипорович, А.А.* Методические указания по учёту и контролю важнейших показателей процесса фотосинтетической деятельности растений в посевах / А.А. Ничипорович. — М. : Колос, 1969. — 57 с.
19. *Шашко, Д.И.* Агроклиматические ресурсы / Д.И. Шашко. — Л. : Гидрометеиздат, 1985. — 268 с.
20. <http://agro-archive.ru/proizvodstvo-produkcii-rastenievodstva/3333-posev-saharnoy-svekly.html> (Дата обращения: 20.06.2021)

**Аннотация.** В статье отражены гибкие технологии возделывания сахарной свёклы, позволяющие при неблагоприятных производственных и экстремальных метеорологических условиях снизить нарушения хода жизненных процессов и получить запланированный уровень урожая сахарной свёклы путём воздействия основными элементами регулирования (полив, удобрения, сроки посева, густота насаждения). Методика проведения исследований заключалась в изучении фотосинтетической деятельности продуктивности посевов: определение накопления сырой и сухой биомассы – весовым методом; измерение площади ассимиляционного аппарата – методом высевок; приход фотосинтетически активной радиации. Фенологические наблюдения за прохождением основных фаз и периодов роста и развития растений и учёт густоты растений проведены по общепринятой методике. Результаты исследований могут служить основой для внедрения гибких технологий при программировании урожаев сахарной свёклы на орошаемых светло-каштановых почвах.

**Ключевые слова:** сахарная свёкла, продукционный процесс, густота стояния, удобрения, фотосинтез, урожайность, продуктивность пашни, автоматизированные агротехнологии.

**Summary.** The article reflects flexible technologies for the cultivation of sugar beets, which allow, under unfavorable production processes and extreme meteorological conditions, to reduce the performance of life processes and to obtain the planned level of sugar beet yield by performing control elements (watering, fertilization, sowing time, planting density). Research methodology: study of photosynthetic activity of crop productivity: accumulation of wet and dry biomass – by weight method; determination of the area of the assimilation apparatus – by the method of cutting; the arrival of photosynthetically active radiation.

**Keywords:** sugar beet, production process, planting density, fertilizers, photosynthesis, productivity, arable land productivity, automated agricultural technologies.