ОПТИМИЗАЦИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ РАСТЕНИЙ КУКУРУЗЫ НА ПОЛЕ

Л. В. Фадеев, канд. техн. наук, доцент

Общая неоспоримая задача агробизнеса – эффективное использование сельхозугодий при поддержании, а в перспективе – повышении плодородия почвы.

Для рассмотрения вопроса возьмем единицу объема среды обитания, в которой начинается жизнь растения, протекают все фазы его развития и формирования урожая. Для анализа необходимо разделить объем на две части: надземную и почвенную (рис. 1).

Задача по размещению растений на поле сводится к тому, чтобы растение максимально использовало все необходимое для продуктивного развития как с надпочвенного объема, так и с самой почвы, не создавая конкуренции соседним растениям.

Урожайность поля зависит от потенциала отдельно взятого растения, но она также зависит и от «командного» результата, т. е. от всех вместе взятых и соседствующих друг с другом растений. Вот здесь-то их распределение на поле и играет важнейшую роль.

Сегодня этот вопрос становится особенно актуальным, поскольку природный потенциал продуктивности основных сельхозкультур в развитых странах практически исчерпал свои генетические возможности. Специалисты объясняют такое снижение темпа роста урожайности предельной возможностью растения использовать солнечную энергию, т. е. при полном обеспечении растения всем необходимым для его развития и продуктивности ограничение оказалось в КПД фотосинтеза. Фотосинтез – главный процесс накопления биомассы. Поэтому чрезвычайно важно распределить растения на поле таким образом, чтобы свести к минимуму их взаимозатенение.

Настало время тщательного рассмотрения существующей агротехнологии отдельных культур и выявления не использованных ресурсов. Оптимизация размещения растений на поле относится к таким ресурсам.

Так сложилось, что необходимость борьбы с сорняками на посевах кукурузы, вначале вручную, а впоследствии механической обработкой междурядья предопределила технологию высева семян кукурузы в ряд с расстоянием между рядами 70 см. Под эти условия были созданы все машины для сева, обработки и уборки кукурузы. При разной густоте сева кукурузы при таком междурядье расстояния между растениями в ряду меняются в диапазоне от 28 см до 14 см (рис. 2).

Понятно, что при таком размещении растений на поле имеющийся ресурс света, воды, питательных веществ используется не в полной мере. Получается, что при таком распределении мы обрекаем растения на конкуренцию за свет в надпочвенном объеме и за воду, кислород, удобрения, питательные вещества их корневых систем.

В этом вопросе имеется еще один важный момент, но для его выяснения необходимо остановиться на физике теплообмена между солнечной радиацией и незатененной частью поля.

Если рассмотреть энергосистему «Солнце – Земля» без учета атмосферы, то все выглядит сравнительно просто – поток лучистой энергии от Солнца на Землю, приходящийся на 1 м^2 ее поверхности по нормали к солнечным лучам, равен 1330±3% Вт/м^2 (рис. 3). Если бы не атмосфера, то можно было бы рассчитать температуру в каждой точке Земли в зависимости от времени суток и года. Именно такие точные расчеты выполнены астрофизиками для

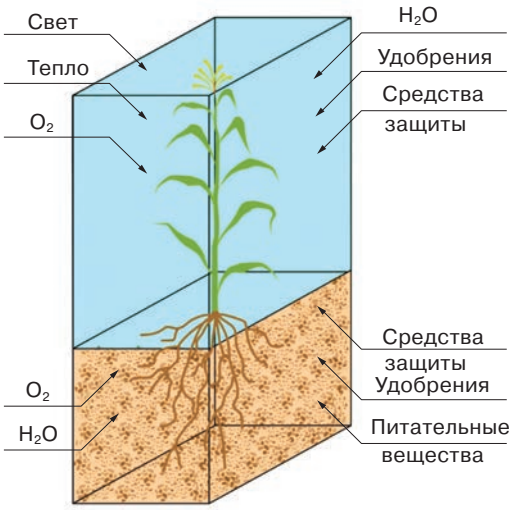

Рис. 1. Среда обитания и компоненты, необходимые для жизни растения

Рис. 2. Сужение зоны питания растения кукурузы при увеличении густоты в ряду

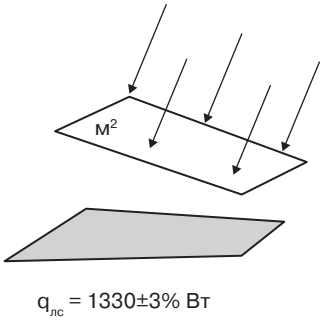

Рис. 3. Количество солнечной энергии, приходящейся на 1 м² поля по нормали к солнечным лучам

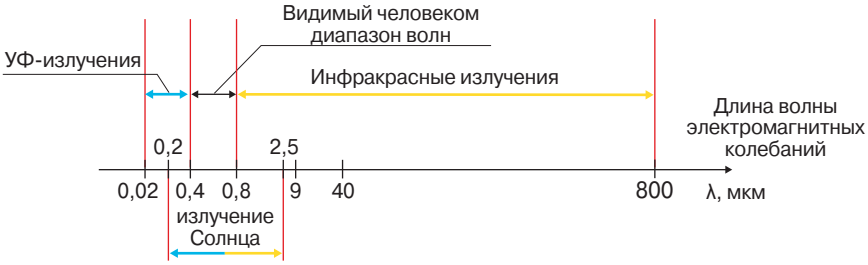

Рис. 4. Виды излучений по длине волны, λ, мкм

других безатмосферных планет. А на нашей Земле синоптики, даже при сегодняшнем мониторинге всех значимых параметров атмосферы, объединенных в единую глобальную систему обработки, не в состоянии дать надежный прогноз более чем на 10 дней. Все дело в случайных событиях, основным из которых является экранирование облачностью различных участков поверхности Земли. Облачность над лесом – одна картина теплообмена в этом месте, над морем – другая, над горами – третья и т. д. Предсказать эти случайные по времени и месту экранирования солнечных лучей невозможно. Таким образом, засухи, как и наводнения на четырех материках Земли (Антарктида не в счет), были, есть и будут.

За миллионы лет жизни на Земле растения и животные в процессе эволюции научились защищаться от крайних проявлений засухи. В любом лесу (хвойном либо лиственном) земля всегда покрыта растительными остатками с прошлого сезона. Почвенные микроорганизмы перерабатывают значительную их часть, но природа регулирует этот процесс так, что земля в обязательном порядке остается покрытой. Это оказывается очень важным моментом – природа как бы не допускает прямого попадания солнечных лучей на открытую землю в зоне растительности.

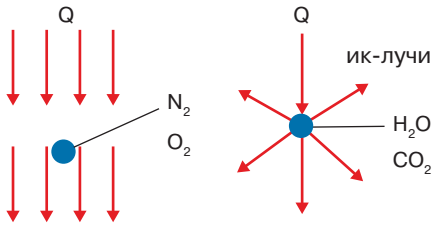

Рис. 5. Свойства двух- и трехатомных газов по поглощению излучения

Часто для объяснения какого-либо неявного, сложного физического процесса используются простые аналоги, понятные на бытовом уровне. Применим этот прием. Человек в сауне перегревается за счет контакта с воздухом, нагретым от камней, лежащих на нагревателе. Камни нагреты, и человек, кроме горячего воздуха, ощущает еще и поток тепла, попадающий на его кожу как бы от невидимых лучей, идущих непосредственно на него от нагретых камней. И не «как бы», а все так и есть. Поток невидимых человеческим глазом инфракрасных лучей (человек видит в узком диапазоне электромагнитных волн 0,4–0,8 мкм, а ИК-излучения лежат в диапазоне 0,8–800 мкм) (рис. 4) пронизывает воздух со скоростью

Юг Агролідер
КУКУРУЗА
НС 2014
НС 101
НС 300
ПОДСОЛНЕЧНИК
МЕРИДИАН
НС-Х-6043
ДНЕСТР
ЗЕВС
НС-Х-6042
ДУНАЙ
НС СУМО 2017
РИМИ
СОЯ
ЛАРИСА
ФОРТУНА
МЕРКУР
Киев, Ак. Туполева, 19
(044) 374-01-05
http://ug-agrolider.com.ua

света и нагревает тела, попадающиеся на его пути. Причем ИК-излучения способны нагревать тела в большей мере (высокая энергонесущая способность ИК-волн находится в диапазоне 40 мкм), чем более короткие и более длинные волны. Но это еще не все.

Объясню следующий парадокс. Вылитый на раскаленные камни сауны ковш холодной воды охлаждает их, а испарение воды с их поверхности (по закону физики) еще более усугубляет охлаждение камней, при этом температура в сауне резко возрастает. Точнее, не температура воздуха, а нагрев предметов (включая человека). Объяснить этот парадокс можно следующим образом.

Одноатомные и двухатомные газы (а именно из них состоит воздух – смесь N_2 и O_2) не поглощают лучистую энергию и не излучают ее, а трехатомные газы H_2O и CO_2 ведут себя в лучистом потоке как твердые частички и, будучи нагретыми (от камней каменки в нашем случае), излучают тепловой поток (рис. 5).

Именно поэтому чувствуется, что «жару добавилось» (хотя температура воздуха в сауне чуть снизилась). Каким же образом человек (особенно завсегдатай сауны) продолжает рассказывать анекдоты соседям по пологу в среде выше 100°С (рекорд около 170°С)? Да все просто – активное удаление воды из организма человека через испаряющийся пот с поверхности кожи удерживает температуру тела в допустимых пределах (тепловая энергия расходуется на разрыв связей между молекулами при переходе воды из жидкого состояния в сухой пар).

Теперь вернемся к растениям. Если солнечные лучи попадают на почву между растениями, то эти участки быстро нагреваются до температуры, превышающей температуру окружающего воздуха. Быстрый нагрев почвы обусловлен двумя причинами. Солнечные лучи избирательно нагревают тела в зависимости от их цвета – темные нагреваются в большей степени, чем светлые, кроме того, неравномерность поверхности почвы увеличивает освещенную площадь и она, практически, не отражает солнечные лучи, т. е. по отношению к солнечным лучам почва близка к понятию «черного тела» (поглощает все лучи). Будучи нагретой от поглощенных солнечных лучей, эта часть почвы излучает тепловой поток уже в диапазоне ИК-волн

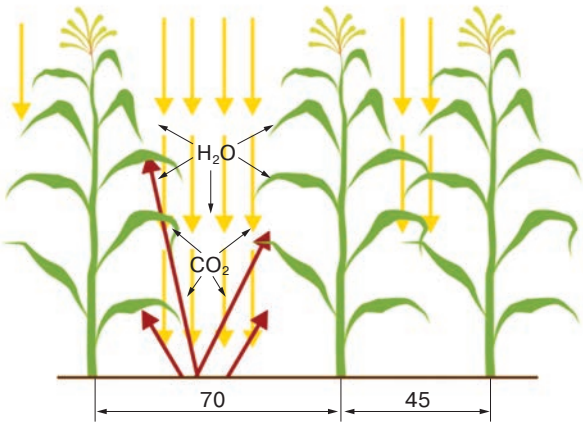

Рис. 6. Схема теплового баланса при междурядьях 70 и 45 см

на листья растений с нижней стороны. Вот тут, как говорится, мы природу подставили. Как известно, испарение воды с поверхности листа (транспирация) происходит через устьица листа, которые природа «спрятала» от попадания прямых солнечных лучей на нижнюю сторону. Так вот, именно на нижнюю часть листа идет поток ИК-излучений от нагретого участка почвы. Кроме того, в физике известно, что длина волны, равная 9 мкм (она лежит в диапазоне ИК-излучений), вызывает резонансные колебания молекул H_2O, что, в свою очередь, способствует интенсивному испарению воды с поверхности тела. Интенсивность транспирации – количество испаренной воды в граммах за час с площади дм^2 – может изменяться в зависимости от условий, в которых оказалось растение, в 10 раз (от 0,15 до 1,5 г·час/дм^2). И если учесть дополнительный тепловой поток от ИК-излучения молекул CO_2 и воды, а также количество испаряемой воды с 1 га за вегетацию (пшеницы – около 2 тыс. тонн, кукурузы – 3,2 тыс. тонн, подсолнечника – более 4 тыс. тонн), то становится понятно, какую сауну человек уготовил растению в засуху (рис. 6). Чем меньшая поверхность поля доступна для прямых лучей, тем легче растению перенести засуху. Борьба за выживание заставляет растения интенсивно испарять воду, так что разница температуры живого и мертвого листьев при прочих равных условиях в солнечный день достигает 5–7°С. Как надо растению испарять воду, чтобы держать такую разницу? В естественной среде растение в таких условиях не оказывается.

Как было сказано, чем меньшая поверхность поля доступна для прямых солнечных лучей, тем легче растению перенести засуху. Для кукурузы это особенно значимо, ибо поток ИК-излучений от перегретой почвы попадает на нижнюю часть листьев, поверхность которых у одного растения достигает 4 м^2 на 1 м^2 поля.

Несколько слов о значимости поступающей от солнца энергии на образование и накопление биологически питательных веществ. Чем больше листовая поверхность работает как «фабрика утилизации солнечной энергии», тем мощнее растение.

Что касается низкой продуктивности при ширине междурядья 70 см, то она легко объясняется. Растения скучены в рядах, что усиливает конкуренцию между ними за влагу, свет и питательные вещества уже в ранний период жизни, что при одинаковых факторах внешней среды сдерживает возможность повышения урожайности за счет более продуктивного использования влаги, питательных веществ и максимальной утилизации солнечной радиации.

Широкое междурядье создает благоприятные условия для развития сорной растительности. Поэтому для уничтожения сорняков необходимо проводить междурядные обработки, при которых травмируются верхние тонкие корешки, обеспечивающие использование влаги даже при незначительных осадках.

В свете всего вышесказанного необходимо максимально помогать растению в его жизнедеятельности, что и является целью агротехнологии. Конкуренция растений за влагу (влага несет питательные

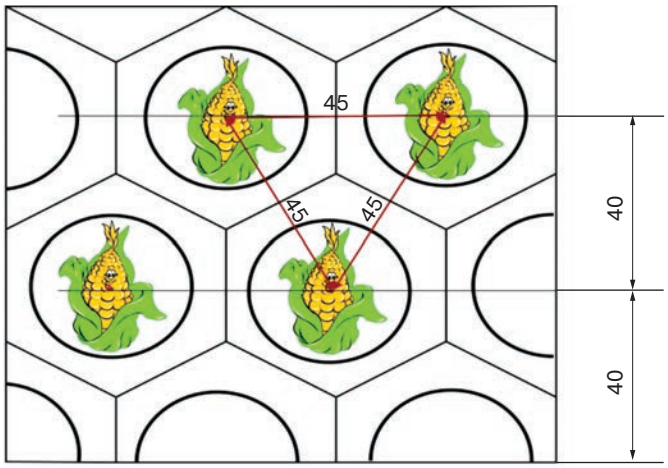

Рис. 7. Вариант размещения растений при плотности сева 50 тыс. на 1 га

Таблица 1. Расчет ширины междурядий и расстояния между растениями в рядах при их равномерном размещении

Число растений на 1 м²	Ширина междурядий, см							
	28	29	30	31	32	33	34	35
Расстояния в ряду, см								
7	51	49	48	46	45	43	42	41
8	45	43	42	40	39	38	37	36
9	40	38	37	36	35	34	33	32
10	36	34	33	32	31	30	29	29
Расстояния между соседними растениями, см								
7	38	38	38	39	39	39	40	41
8	36	36	37	37	37	38	39	39
9	34	35	35	36	36	37	38	38
10	33	34	34	35	36	36	37	38

вещества) начинается уже с фазы бутонизации и далее только усиливается вплоть до созревания. Оптимальное размещение растений в поле позволяет в большей степени развить корневую систему, а значит, и продуктивность растения.

При равномерном размещении улучшается освещение каждого растения и повышается продуктивность фитоценоза. Что касается КПД использования солнечной радиации, т. е. уровня усвоения ФАР, то если для большинства растений он близок к 1%, то у кукурузы этот коэффициент составляет 3–5%. Требуется только не затенять растение.

Итак, резюме: не заставляйте растения тратить энергию на борьбу друг с другом.

Таким образом, исходя из чисто линейных и площадных оптимизаций, можно утверждать, что при севе кукурузы, с целью получения максимального урожая, необходимо равномерно распределить растения на поле. Такое размещение позволяет обеспечить равноудаленность растений, что защитит почву от перегрева прямыми солнечными лучами, а значит, уменьшит поток ИК-излучения на растения от нагретой почвы и тем самым снизит потери влаги на испарение, усилит угнетение сорняков, затененных равномерно расположенными листьями, которые при этом более полно поглощают солнечную радиацию. Корневая система растений при таком их распределении пронизывает весь объем почвы между растениями. Следовательно, равнораспределение растений на поле позволяет эффективно

Рис. 8–11. Поле при равнораспределении растений кукурузы сеялкой GEO Seed

использовать всю среду обитания для формирования повышенной продуктивности кукурузы (рис. 7).

С огромным облегчением, развеявшим мои сомнения, нахожу у Дитера Шпаара схему распределения семян кукурузы на поле, к которой я пришел при анализе продуктивности подсолнечника в зависимости от стояния растений перед уборкой. Дитер Шпаар пишет, что прежде чем начать применение такой технологии, необходимо ответить на следующие вопросы:

• Возможно ли ее комбинирование с имеющейся в хозяйстве уборочной техникой?

• Есть ли возможность равномерного распределения семян в ряду?

• Можно ли применять ленточную подкормку растений фосфором и другими удобрениями на глубину 5 см и на такое же расстояние сбоку от рядов?

• Приведет ли это к дополнительным затратам на уход и удобрение посева?

Поскольку количество растений на один гектар может существенно отличаться в зависимости от конечной цели выращивания (на силос, на зерно и т. д.), то Дитер Шпаар предлагает варианты размещения растений на поле при изменении их количества на одном м^2 от 7 до 10 растений. Одно обязательное условие – равнораспределенность (табл. 1).

Такой посев требует соблюдения одинаковой ширины междурядий и расстояний между семенами в рядах с их разным расположением в соседних рядах. Это возможно только со специальными сеялками точного высева. Сегодня этот вопрос решен.

На рис. 8–11 показано поле при равнораспределении растений кукурузы сеялкой GEO Seed.

Кроме того, разработчики сеялок, учитывая требования агротехнологии, начинают поставлять на рынок сеялки для строгого распределения семян со смещением одного ряда относительно другого (рис. 12).

Исследования продуктивности кукурузы в зависимости от обеспечения основными факторами жизни (тепло, свет, вода, минеральные элементы, воздух) активно начали проводиться в СССР в середине

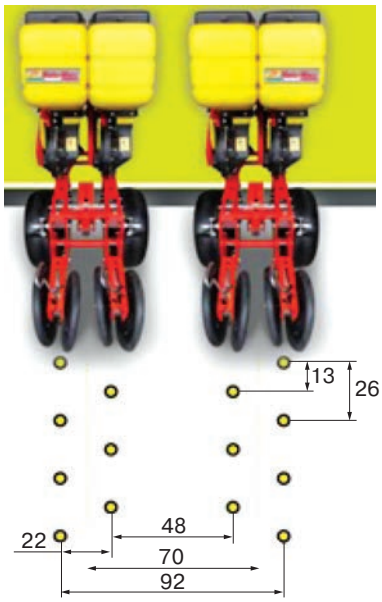

Рис. 12. Схема высева семян сеялкой TWIN

XX века. Это было мотивировано двумя причинами: расширением посевов под кукурузу и появлением технологии гибридизации. Сегодня, с учетом изменения климата, кукурузного «бума», наличия в реестре Украины более 600 гибридов кукурузы, продвижения ее посевов в северные регионы, исследования зависимости продуктивности ее от густоты стояния на поле исключительно интересны.

К сожалению, поиски таких исследований привели к материалам анализа продуктивности кукурузы в зависимости от густоты стояния растений в ряду, поскольку они выполнены без варианта размещения их на поле при разных величинах междурядья, т. е. все они выполнены при междурядье 70 см. Тем не менее, результаты исследования А. Андриенко и М. Ромашенко (2013) объясняют морфологию кукурузы в зависимости от густоты стояния и еще раз подтверждают, что кукуруза по продуктивности избирательна к зоне возделывания, вегетативному

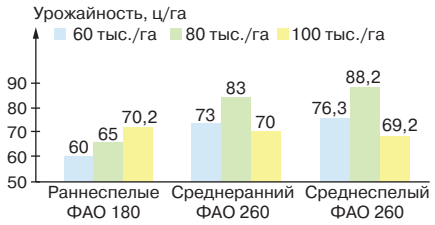

Рис. 13. Урожайность кукурузы в зависимости от густоты стояния растений и скороспелости

периоду и способности противостоять засухе. Как и следовало ожидать, при уплотнении семян кукурузы в ряду выше оптимального в силу ужесточения конкуренции за основные факторы жизни выход зерна с кочана снижается в 1,5–1,8 раза из-за уменьшения самого кочана, количества зерен в кочане и массы 1000 шт. семян.

Но, как известно, величина урожая определяется продуктивностью всех растений с единицы площади поля. В этой связи приведем два графика: один иллюстрирует влияние густоты стояния растений на урожайность для разных по времени вегетации гибридов кукурузы (рис. 13), а второй – влияние потенциала семян гибридов и их засухоустойчивости (рис. 14).

Анализ гистограмм, приведенных на рис. 13 и 14, позволяет сделать следующие выводы:

1. При междурядье 70 см густота сева кукурузы для раннеспелых гибридов может быть выше 80 тыс./га;

2. Оптимальное количество растений на один гектар для среднеранних и среднеспелых гибридов (FAO 260–320) составляет 80 тыс./га;

3. Засухоустойчивые среднеспелые гибриды также дают наивысшую урожайность при густоте стояния перед уборкой 80 тыс./га.

Еще раз повторим, что речь идет о междурядье 70 см.

Рассмотрим сравнение продуктивности кукурузы при междурядье 70 см и при равнораспределенном размещении растений на поле.

Как уже отмечалось, ширина междурядий для кукурузы имеет особо важное значение, ибо начальные фазы развития культуры протекают медленно, позднее смыкание дает возможность сорнякам беспрепятственно использовать незатененную поверхность поля для собственного развития. Так, Дитер Шпаар

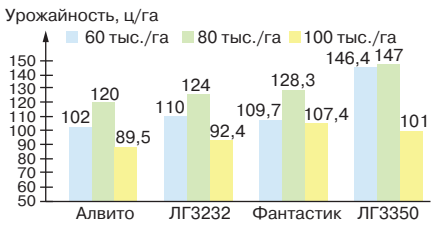

Рис. 14. Урожайность различных гибридов кукурузы в зависимости от густоты стояния перед уборкой

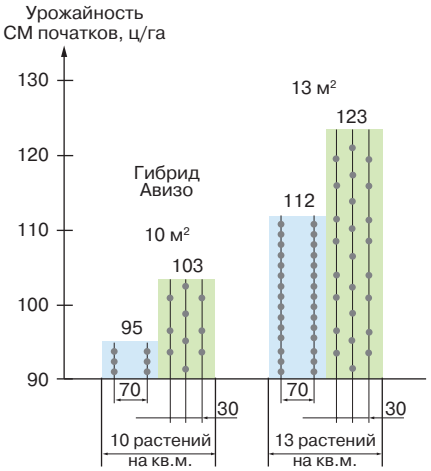

Рис. 15. Влияние на урожайность (СМ початков) кукурузы при изменении междурядья и густоты стояния

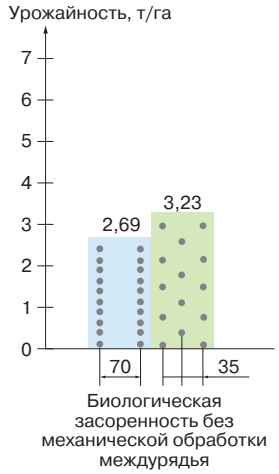

Рис. 16. Урожайность зерна кукурузы в зависимости от способа сева и средств контроля сорняков

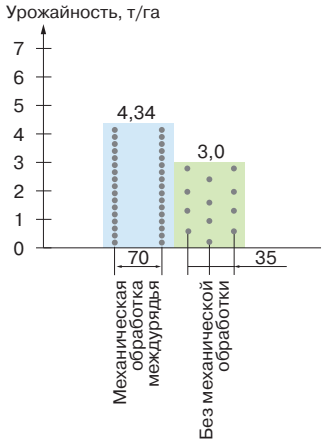

Рис. 17. Урожайность зерна кукурузы в зависимости от способа сева и средств контроля сорняков

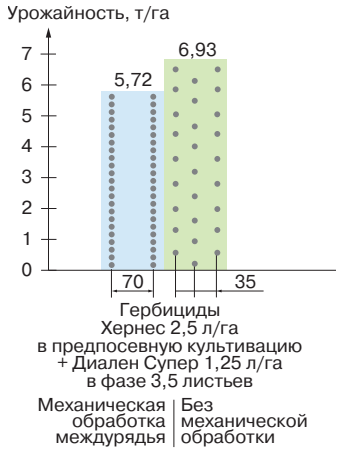

Рис. 18. Урожайность зерна кукурузы в зависимости от способа сева и средств контроля сорняков

видит преимущества сужения междурядий в следующем:

– лучшее распределение растений по площади питания;

– более равномерное поглощение растениями питательных веществ из всего объема почвы;

– более полное использование внесенных удобрений;

– более раннее смыкание рядов и улучшение микроклимата в посеве;

– пониженная эрозия почвы;

– сокращение позднего засорения посева;

– снижение затрат на гербициды;

– уменьшение остаточного количества нитратов в почве после уборки;

– повышенная устойчивость к засухе.

Опыты в Центральной Германии (земля Тюрингия) показали, что компактные низкорослые гибриды кукурузы лучше всего реагируют на выращивание с шириной междурядий 30 см. В этих опытах отмечалось изменение микроклимата внутри стеблестоя – повышение ночных температур на 5°С (рис. 15).

Опыты были проведены на низкорослой кукурузе на силос. Увеличение массы початков (СМ) при междурядье 30 см с соответствующим равномерным распределением при севе дает основание предполагать, что при выращивании кукурузы на зерно снижение величины междурядья также приведет к повышению урожая.

Именно это подтвердили исследования, проведенные Ю. Ткаличем и др. (2013). Исследования были выполнены по трем программам:

1. Сравнение продуктивности кукурузы при разных вариантах распределения растений на поле без какой-либо обработки. Результаты исследования приведены на рис. 16. Как и следовало ожидать, урожайность при равнораспределенном варианте размещения растений оказалась выше, чем при междурядье 70 см при равном количестве растений на гектар перед уборкой.

Это можно объяснить не только равномерностью обеспечения растений питанием, влагой и светом, но и тем, что биологическая засоренность при равномерном распределении растений на поле угнеталась растениями за счет конкуренции с сорняками, прежде всего за освещенность.

2. Условия испытания остались такими же, как и в первом случае, но была проведена двукратная механическая междурядная обработка для уничтожения сорняков на поле с междурядьем 70 см. На поле с равнораспределенным размещением растений сорняк не удалялся. Результаты испытания приведены на рис. 17. Они убедительно показывают недополучение урожая при отсутствии контроля за сорняками.

3. Программа третьего испытания включала механическую обработку междурядья 70 см, отсутствие механической обработки от сорняков на поле с равнораспределенным размещением растений, но с обработкой обоих полей с применением гербицидов харнес 2,5 л/га под предпосевную культивацию + диален супер 1,25 л/га в фазе 3–5 листьев. Результаты испытания приведены на рис. 18.

Результаты испытаний в этом случае убедительно доказали, что продуктивность кукурузы на зерно при равнораспределении на поле, даже при отсутствии междурядной обработки и при целевой обработке гербицидами, заметно выше, чем при той же обработке гербицидами и плюс механической борьбе с сорняком при междурядье 70 см.

Приведенные результаты легко объясняются, ибо равномерное распределение солнечной энергии, влаги, воздуха, питательных веществ создает максимально продуктивную среду обитания каждому отдельному растению на поле, а оптимальная густота их стояния – мощный фактор продуктивности всего поля и надежное препятствие развитию сорняков.