

УДК 631.67(437)

ПРОБЛЕМЫ ОРОШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ УМЕРЕННО ВЛАЖНОГО КЛИМАТА

КУДРНА К.

(Чехословацкая сельскохозяйственная академия в Праге)

Интенсивное развитие социалистического сельского хозяйства ставит проблему орошения в тех условиях, где достаточно высока годовая сумма осадков, но распределяются они очень неравномерно. Анализ действия оросительных систем в ЧССР, а также результатов многих исследовательских работ [1—7] свидетельствует о том, что и в таких условиях орошение может дать значительный дополнительный эффект, если его применять в критические периоды вегетации отдельных полевых культур. Изучение термодинамических условий, которые складываются в период роста и развития полевых культур, показало [8], что у каждой из них есть свой критический период, в течение которого растения должны получать необходимое количество влаги. Кроме того, орошение выполняет и другую функцию: оно является фактором, повышающим уровень биоэнергетического потенциала почвы. В данной статье предпринята попытка рассмотреть обе функции орошения.

Орошение как фактор, повышающий уровень биоэнергетического потенциала почвы

Биоэнергетический потенциал почвы мы характеризуем как энергетическое состояние активных поверхностей частиц почвы, которое определяется количеством освобожденных ионов минеральных солей. Указанное состояние зависит от качества и величины поверхностей илистых частиц минералов и высокомолекулярных углеродных составных частей гумуса, которые, в свою очередь, детерминируются способом действия сельскохозяйственной системы.

Деятельность этой сложной динамической системы начинается с момента установления взаимосвязей между отдельными подсистемами (растительными сообществами, полигастрическими животными, микробными сообществами в почве) и между ними и окружающей средой. Вследствие этого происходят преобразования массы и энергии, постоянно повторяющиеся.

Из уравнений трансформаций, которые удалось вывести для сельскохозяйственной системы, следует, что трансформация массы в отдельных подсистемах всегда вызывается оператором, действующим на совокупность связей между подсистемами или их элементами.

Первая трансформация происходит в хлоропласте листьев путем превращения кинетической энергии солнечной радиации в потенциальную (в растительную массу). При этом происходит синтез глицидно-белковой массы, т. е. углеродисто-азотистой массы. Вторая трансформация идет в сложном желудке жвачных животных. Третья — осуществляется с помощью микробных сообществ в почве. Здесь в процессе синтеза из углеродистых предшественников гумуса образуются актив-

ные поверхности, которые способны, как и илистые частицы минералов, связывать питательные вещества минеральных удобрений и воду.

В результате анализа интенсивных сельскохозяйственных систем в Европе было установлено, что их структура определяется соотношением культур, которые обогащают почву углеродом (т. е. ресурсов), и культур, не оставляющих в почве углеродистой массы (т. е. потребителей). К первым относятся многолетние сеяные травы и луго-пастбищные травы, ко вторым — все пропашные культуры. Зерновые могут быть потребителями или «обогачителями» в зависимости от того, какое количество их массы в виде органических остатков возвращается в почву.

В историческом процессе развития сельскохозяйственных систем соотношение ресурсов и потребителей углерода изменяется; зависит оно и от высоты над уровнем моря и строения подстилающих пород. Изолинии, характеризующие соотношение ресурсов и потребителей углерода на территории ЧССР, ПНР и ГДР [9], полностью подтвердили установленную закономерность, что потребление повышенного количества углеродистых масс растет с высотой над уровнем моря и при наличии таких горных пород, как гранит, из которых освобождаются илистые минералы типа каолинита с малыми активными поверхностями. Там, где подстилающие породы содержат иллит или монториллонит, возрастает величина активных поверхностей, вследствие чего соотношение ресурсов и потребителей углерода может быть более благоприятным.

Таким образом, анализ полученных нами изолиний показывает, что в двух разных системах одинаковый способ поведения элементов будет проявляться по-разному при различной структуре этих систем, т. е. изменение структуры сельскохозяйственной системы вызывает изменение способов ее действия. В свою очередь, способ действия элементов сельскохозяйственной системы может так влиять на систему, что она приобретает новые свойства, даже при той же структуре. Эти изменения вызываются регулирующими и интенсифицирующими факторами (применением удобрений, урожайных сортов, орошения и т. п.).

В результате умножения факторов интенсификации в конечном счете изменяется структура сельскохозяйственной системы. Такой способ действия системы характеризуется как ее развитие. Однако каждая сельскохозяйственная система развивается в конкретный период времени, которому свойственны определенные трансформации.

Значение выходного вектора, например урожая данной культуры, зависит от значения входных векторов, т. е. от того, что в систему вводится, и от продолжительности срока, в течение которого трансформация действует. Особенность же сельскохозяйственной системы заключается в том, что значение результатов ее действия, продолжающегося определенный промежуток времени, на протяжении которого действует трансформация, зависит от множества факторов, причем участие каждого из этих факторов в суммарном эффекте будет неодинаковым.

Сельскохозяйственная система устойчива тогда, когда она в своей структуре имеет обратные компенсационные связи, позволяющие возвращать обратное вещества, уходящие за ее пределы. Кроме того, она обладает свойством переходить со временем из этого устойчивого состояния к состоянию равновесия и становится таким образом независимой от первоначальных условий, т. е. ландшафта, почвы, подстилающих пород и т. п. Особую роль в переходе к такому равновесному состоянию играет орошение.

С точки зрения приведенной выше теории соотношения ресурсов и потребителей углерода оросительная вода действует в двух противоположных направлениях в зависимости от того, приводит ли орошение к увеличению урожая многолетних сеяных и лугово-пастбищных трав

или к повышению урожаев — потребителей углерода. В первом случае оросительная вода увеличивает биоэнергетический потенциал почвы и вследствие этого повышает устойчивость сельскохозяйственной системы, особенно при наличии соответствующей плотности поголовья крупного рогатого скота как трансформатора глицидно-белковой массы многолетних сеяных и лугово-пастбищных трав.

Во втором случае, орошение, способствуя росту урожая пропашных культур, не повышает биоэнергетического потенциала почвы. Однако если нужно достичь равновесия в балансе питательных веществ, а следовательно, и максимального использования оросительной воды, необходимо существенно увеличить количество органических удобрений.

При орошении зерновых культур биоэнергетический потенциал почвы, а вместе с тем и устойчивость системы повышаются в зависимости от того, какое количество органической массы возвращается в почву в форме органических удобрений. Следует отметить, что в ряде хозяйств в ЧССР потери органической массы в посевах зерновых культур достигают 70%, в то время как при серьезном, внимательном отношении к органическим удобрениям потери не доходят до 30%. В таких случаях зерновые очень благоприятно влияют на биоэнергетический потенциал почвы. Тогда и орошение, существенно повышающее уровень урожаев зерновых, действует как высокоэффективный фактор интенсификации в сельскохозяйственной системе.

Таким образом, эффект орошения зависит от того, на какой элемент сельскохозяйственной системы оно действует. Рассматривая орошение как один из факторов, влияющих на устойчивость сельскохозяйственной системы, и стремясь достигнуть равновесия последней, в каждом конкретном случае необходимо принимать соответствующие меры:

если орошение используется для повышения урожаев многолетних сеяных и лугово-пастбищных трав, нужно увеличить соответствующую плотность поголовья крупного рогатого скота и сконцентрировать применение минеральных удобрений прежде всего на этих культурах;

если орошение проводится с целью повысить урожаи пропашных культур, следует увеличить количество вносимых органических удобрений;

если орошаются зерновые, необходимо создавать условия для возврата максимального количества их массы в форме высококачественных органических удобрений.

Во всех случаях применения орошения нужно добиваться равновесия системы и параллельно интенсифицировать все агротехнические факторы.

Роль орошения как фактора, влияющего на урожай сельскохозяйственных культур и его качество

В задачи сельского хозяйства на современном этапе его развития входит не только повышение устойчивости производства, но и существенный рост качества получаемой продукции. В связи с этим следует критически оценить влияние орошения на качественные показатели. Широко распространено мнение, что орошение снижает качество урожая полевых культур. Мы не можем согласиться с ним в полной мере.

Орошение (и вода вообще) в биоэнергетической системе «природная энергия — растение» действует в качестве термодинамического фактора. Оно отнимает часть солнечной радиации и создает в системе температурный градиент. Это явление подчиняется первому и второму законам термодинамики. Если использовать первый закон в качестве модели, то в дифференциальной форме можем записать следующее уравнение:

$$\delta Q = dU + \delta A,$$

где Q — количество поступающего в систему тепла; U — внутренняя энергия, представленная в нашей модели такими специфическими веществами в растении, как ферменты, аминокислоты, сахара и т. п.; A — работа (рост клетки и растительного организма).

В начале вегетации растений после высева семян, когда сумма температур недостаточна для того, чтобы обеспечить рост всего растения и растут лишь его корни за счет резервных веществ семени, указанное уравнение принимает вид $\delta A = dU$. Разумеется, это продолжается недолго и в дальнейшем идет накопление энергии (dU). Этот период, когда влияние температур сильнее влияния осадков, предшествует критическому периоду, который также характеризуется приведенным уравнением, но влияние осадков здесь преобладает над влиянием температур, а потому преобладает рост растения (δA). В последней термодинамической фазе, когда при нормальных климатических условиях кончается рост ($\delta A = 0$), получаем $\delta Q = dU$, т. е. вся энергия солнечного излучения δQ расходуется на улучшение качества (накопление сахаров, белков и т. д.) урожая.

Прибавки урожая зерна пшеницы сорта Мироновская и корнеплодов сахарной свеклы от орошения в критические периоды их роста в 1971—1975 гг.

Культура	1971	1972	1973	1974	1975
Пшеница:					
ц/га	5,1	9,8	11,9	4,3	13,9
%	13,8	22,0	31,6	9,6	47,3
Сахарная свекла:					
ц/га	273	133	411	294	391
%	87,1	36,1	184,3	117,6	123,8

Краткое описание термодинамических фаз приведено для того, чтобы показать их влияние в экстремальных климатических условиях, т. е. когда недостает влаги или, наоборот, когда она в избытке. Следовательно, многое зависит от того, на какой период года приходится критический период развития растений и конец их вегетации, т. е. какие термодинамические условия складываются при этом. Если для примера взять зерновые и сахарную свеклу, то критический период первых приходится на май, а последней — на август. Следовательно, максимальный урожай зерновых будет обеспечен в том случае (при необходимом уровне удобрения и агротехники), если в мае и июне будет достаточно влаги, а максимальный урожай сахарной свеклы — при достаточном количестве осадков в августе (на данный период должен приходиться и максимум оросительных доз).

Посмотрим, что происходит в указанных растениях при нарушении этих требований, т. е. если мы в критический период не обеспечим орошения или, наоборот, применим его вне критического периода. Такие эксперименты были проведены кафедрой сельскохозяйственных систем агрономического факультета Сельскохозяйственного института в Праге [10]. Кроме того, с этой точки зрения были оценены многочисленные производственные данные. В опытах использовали противодождевые навесы.

Установлено, что недостаток влаги в критический период понизил урожай высокоурожайных сортов пшеницы на 80%; некоторые сорта вообще не колосились, и все сорта, не получившие в критический период влаги, были поражены множеством вредителей и болезней. Аналогичная картина наблюдалась в посевах сахарной свеклы. Вместе с тем полив в критические периоды обеспечил получение высоких прибавок урожая и пшеницы и сахарной свеклы.

Однако здесь проявляются законы термодинамики еще и в отношении качества. Ввиду длинного вегетационного периода сахарной свеклы оросительная вода в июле создает предпосылки для существенного повышения содержания сахара. Однако накопление его не может проявиться в полной мере ввиду того, что главный период роста корней приходится на август. Наоборот, подвод оросительной воды после критического периода — в сентябре — вызывает существенное повышение урожая корней, но из-за недостатка подаваемого тепла сильно понижается содержание сахара. Образование урожая идет за счет расхода сахара, т. е. нарушается уравнение последней термодинамической фазы $\delta Q = dU$, вместо которого вступает в силу $\delta A = -dU$, т. е. происходит процесс, характерный для начала вегетации при недостатке тепла, когда $\delta Q = 0$. Вместе с тем результаты эксперимента убедительно доказывают, что это вовсе не так и что сахаристость понижается только в том случае, если перенасыщение водой продолжается долго и если сахарной свекле не удастся выравнять возникший температурный градиент внутренними энергетическими процессами. Это доказывает большую роль точного определения водного режима полевых культур, отвечающего термодинамическим условиям соответствующей фазы.

В настоящее время экспериментальные работы продолжаются с целью установления параметров для регулирования качества полевых культур с помощью орошения в условиях достаточного количества осадков, но неравномерного их распределения в течение вегетационного периода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Битюков К. К., Дорожко П. К. Орошение с.-х. культур в степных районах. М., «Колос», 1965. — 2. Клечка А. Основные вопросы системы с.-х. производства в горн. и предгорн. районах. В сб. науч. работ Чехословацкой с.-х. акад., 1958, вып. 4. — 3. Костяков Н. А. Основы мелиорации. М., «Сельхозгиз», 1960. — 4. Горн Д., Петерсон Г. Орошаемые земли. М., ИЛ, 1952. — 5. Черкасов А. А. Мелиорация и сельскохозяйственное водоснабжение. М., Сельхозгиз, 1958. — 6. Шаров И. А. Экс-

плуатация гидромелиоративных систем. М., «Колос», 1968. — 7. Шаумян В. А. Плановое водопользование при орошении. М., Сельхозгиз, 1952. — 8. Kudrna K. Termodynamický charakter vlivu klimatických faktorů na formování polních plodin Rostlinna výroba. UVTI, 6, Praha, 1967. — 9. Kudrna K. K poznání zákonitostí vývoje struktury zemědělských sovsťav v PLR a SVNDR. Sbornik Vysoké školy zemědělské v Praze, fakulta agronomická, Rada A, 1975. — 10. Kudrna K. Z. Landeskultur, Berlin, 1969, Bd 9, S. 187—200.

Статья поступила 11 мая 1977 г.

SUMMARY

In the paper an attempt has been made to explain the function of irrigation under conditions of sufficient rainfall distributed non-uniformly. In this case irrigation may become a quite efficient practice, if performed in precisely fixed critical periods of growth and development of field crops, as it raises both yield and its quality. It has been also found that irrigation is an important factor of increasing the level of bioenergetic potential of the soil.