

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

УДК 633"321": 631.547

ВЛИЯНИЕ ВЛАГО- И ТЕПЛОБЕСПЕЧЕННОСТИ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ ФАЗ РАЗВИТИЯ И УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОГО ТРИТИКАЛЕ

А.П. Лихацевич, член-корреспондент НАН Беларуси

Н.Н. Семенов, доктор сельскохозяйственных наук

Е.И. Волкова, заведующая отделом

В.А. Журавлев, научный сотрудник

Институт мелиорации и луговодства НАН Беларуси

Ключевые слова: яровое тритикале, урожайность, фенологические фазы, прогнозирование урожайности, влагообеспеченность, теплообеспеченность

Введение

В настоящее время достаточно надежными считаются агрометеорологические прогнозы урожайности, составляемые в период вегетации культуры (для ранних яровых и озимых зерновых культур окончательные прогнозы обычно составляются в период колошения), основанные на том, что уровень урожайности зерновых культур определяется в основном тремя показателями: числом продуктивных стеблей на гектаре, количеством зерен в колосе и массой 1000 зерен. Переход к прогнозированию урожайности по метеорологическим факторам на более ранних этапах или к заблаговременным прогнозам будет являться качественно новым этапом в агрометеорологическом прогнозировании, но прежде необходимо установить закономерности последовательного прохождения растением фаз развития, влияние на этот процесс текущей тепло- и влагообеспеченности.

Урожай сельскохозяйственных культур формируется последовательно, от одной фазы к другой, и для каждой фазы характерны свои влияющие факторы, принимающие оптимальные и неоптимальные значения. Каждый последующий период зависит от всех предшествующих. В процессе развития растений элементы структуры урожайности формируются в разные сроки, например, продуктивные побеги образуются в фазу кущения. С конца кущения до середины выхода в трубку формируется число колосков в колосе, масса 1000 зерен – в момент налива зерна [1].

Так как начальные периоды (кущение, выход в трубку) очень важны для формирования элементов продуктивности, то на этой стадии развития уже можно прогнозировать предстоящий урожай, опираясь на модели продукционного процесса (регрессионные, балансовые, эмпирические).

Существует ряд направлений математического моделирования продукционного

процесса сельскохозяйственных культур, которые можно использовать при прогнозировании урожайности [2-4]. Они базируются на учете разных факторов с большей или меньшей детализацией. Разработаны модели важнейших жизненных процессов растений: фотосинтеза, дыхания, роста, минерального питания. Исследованы процессы энерго- и массообмена в среде обитания растений.

В [5] приводятся методы математического описания процессов влияния гидрометеорологических условий среды на продуктивность растений. Автор [6] разработал базовую модель формирования урожая сельскохозяйственных культур, предложил методы определения параметров моделей, основанные на достаточно общих закономерностях биологических процессов и применении доступной агрометеорологической информации. Вместе с тем указанные модели не были доведены до широкого практического применения.

К фундаментальным работам в этой сфере можно отнести модель Х.Г. Тооминга, который предложил теорию продукционного процесса, заключающуюся в том, что растение стремится к максимально возможной в конкретных условиях продуктивности. Значимым в его теории является то, что автор сформулировал общие положения и тенденции процессов и оценил относительную роль того или иного фактора в процессе формирования урожая. Концепция максимальной продуктивности стала мощным средством исследования продукционного процесса фотосинтезирующих систем разных уровней организации – листьев, растений и фитоценозов [7-8]. Х.Г. Тооминг писал: «По мере уменьшения влагозапасов почвы способы реализации принципа максимальной продуктивности изменяются. Вместо архитектуры, содействующей максимальному поглощению ФАР и повышению интенсивности фотосинтеза, появляется архитектура, способствующая меньшему поглощению ФАР. Форма растения и распределение биомассы между над- и подземными органами меняется по сравнению с формой, образующейся в оптимальных условиях водного режима. Однако следует подчеркнуть, что растения в таких условиях не экономят воду за счет продуктивности. Растения всегда обеспечивают максимальную продуктивность в данных условиях, т.е. при наличии минимальных ресурсов воды, но в соответствии со всем комплексом внешних условий». Этот вывод является достаточно общим, требует увязки с конкретными условиями вегетации, что и положено в основу наших исследований. В предлагаемой статье приводятся результаты изучения воздействия водного и теплового режимов на формирование урожая ярового тритикале.

Известные модели различны по числу учитываемых факторов и степени их детализации. У них есть достоинства и недостатки: схематичность, трудности при попытке охватить всю сложность и многосторонность продукционного процесса. Например, теоретические модели существуют уже несколько десятилетий, но пока не получили широкого применения ввиду их сложности. Теорию продукционного процесса сложно приближать к производственным условиям без учета факторов и степени их влияния на урожай, без разработки адекватного для практики математического описания.

Объекты и содержание исследований

Данная статья является продолжением работы [9], которая посвящена связи тепловлагообеспеченности в конкретные фазы развития зерновых с их урожайностью. В [9] описаны виды связи урожайности ярового тритикале с факторами по фазам развития на опытных полях Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства и сделаны выводы о том, что тенденция увеличения продолжительности вегетационного периода характерна для лет с высоким урожаем зерновых, а продолжительность фаз развития зерновых зависит, в свою очередь, не только от накопления сумм температур, но и от целого комплекса факторов.

В годы исследований выделены фазы развития растений, для каждой фазы по данным метеорологической станции Полесская подсчитаны суммы максимальных и среднесуточных температур, осадки, продуктивные влагозапасы. Определены степень и форма влияния факторов в каждую фазу.

Результаты и обсуждение

Этапы органогенеза растений проходят в строгой последовательности. Каждый этап требует характерных только для него оптимальных значений факторов роста и развития, прежде всего влагообеспеченности и пищевого режима. Очевидно, только глубокое познание сущности процессов, происходящих в каждую из фаз, позволит найти ключевые моменты, влияющие на развитие. Отталкиваться можно от качественного описания процессов, происходящих в конкретные фазы или этапы органогенеза, переходя затем к их количественному выражению. Например, рассмотрим отдельно фазы развития ярового тритикале: 3 листа – конец кущения и кущение – флаговый лист (см. таблицу).

Характеристика тепловлагообеспеченности фаз развития ярового тритикале на ПОСМЗиЛ

Год	Влагозапасы в фазу 3 листа в слое 0-50 см, мм	Сумма среднесуточных температур за период 3 листа – конец кущения / среднесуточная температура за период, °С	Сумма максимальных температур за период 3 листа – конец кущения / средняя максимальная за период температура, °С	Осадки за тот же период, мм	Продолжительность периода, дни	Влагозапасы в фазу конец кущения в слое 0-50 см, мм	Урожай, ц/га, контроль, без удобрений	Урожай, ц/га, на фоне N ₉₀ P ₈₀ K ₁₂₀
Период 3 листа – конец кущения								
2001	53,2	245,5/12,9	387,6/20,4	19,3	19	50,3	35	41,6
2002	94,6	302,6/14,4	458,4/21,8	15,6	21	91,8	35,3	56,3
2003	102,7	213,7/15,3	312,6/22,3	32,9	14	114,5	24,1	41,1
2004	165,1	225,8/10,8	341,4/16,3	34,6	21	149,5	40,5	55,3
2005	218,2	376,2/13,4	523,5/18,7	84,2	28	182,4	38,6	65,4
Период конец кущения – флаговый лист								
2001	50,3	259,1	382,4/18,2	43,7	21	45,6	35	41,6
2002	91,8	336,9	465,8/22,2	73	21	96,9	35,3	56,3
2003	114,5	241,2	349,6/25,0	0,2	14	59,5	24,1	41,1
2004	149,5	295	431,6/20,6	17,7	21	66,7	40,5	55,3
2005	182,4	345,8	461,2/22,0	22,5	21	102,4	38,6	65,4

Период 3 листа – конец кущения

В стадии «кущение» закладываются продуктивные стебли и колоски. В этот период идет очень активный рост корневой системы. В научной литературе многократно упоминается о том, что количество продуктивных стеблей тесно коррелирует с урожайностью. Значит, условия среды должны благоприятствовать закладке оптимального количества продуктивных стеблей. Фаза кущения соответствует I-II этапам органогенеза [1, 10].

В условиях недостаточной влагообеспеченности и при экстремальных высоких температурах на I-II этапах органогенеза формируется несколько меньшее число узлов и листьев по сравнению с типичным количеством для сорта. В зависимости от скороспелости яровых и озимых сортов зерновых культур II этап проходит в фазы первого-третьего листа или длится до окончания фазы кущения.

Именно из-за высоких среднесуточных и максимальных температур продолжительность данной фазы в 2003 г. была минимальной (всего 14 сут., рис. 1). Хотя повышенная теплообеспеченность в некоторой степени была компенсирована атмосферными осадками, выпавшими за этот период (32,9 мм против, например, 15,6 мм в 2002 г., когда продолжительность данного периода составила 21 сут.), урожай на контрольном варианте получен минимальный (всего 24,1 ц/га). Внесение удобрений дополнительно снивелировало падение урожая из-за повышенных температур.

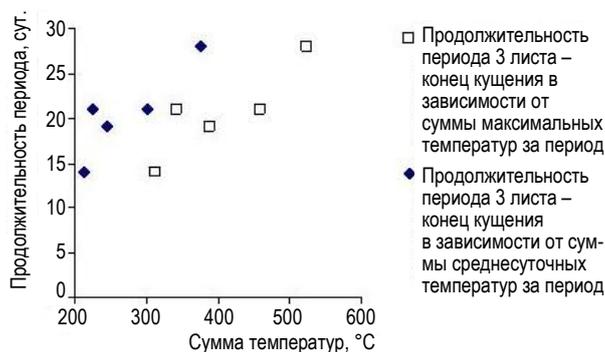


Рис. 1. Зависимость продолжительности периода 3 листа – конец кущения ярового тритикале от суммы среднесуточных температур, ПОСМЗиЛ

жаем по сравнению с более теплым и менее влагообеспеченным 2002 г.

В свою очередь, повышенная влагообеспеченность 2005 г. (за период выпало 84,2 мм осадков), несмотря на существенное увеличение продолжительности периода до 28 суток, не вызвала увеличение урожая на контроле, но резко повысила урожай на варианте с внесением удобрений.

Таким образом, на формирование урожая решающее влияние оказывают в комплексе три фактора: тепло, влага и питание. Причем оптимальность сочетания зависит от соотношения между этими факторами. Предварительно можно заключить, что вели-

Наилучшие условия по тепло- и влагообеспеченности сложились в 2004 г. (наблюдались низкие среднесуточные и максимальные температуры при достаточно высокой влагообеспеченности периода – 34,6 мм осадков). Это позволило на контрольном варианте получить максимальную за 5 лет урожайность. Однако на варианте с внесением удобрений данный год не характеризовался повышенным уро-

чину урожая определили лимитирующие факторы: в 2001-2002 гг. – пониженные влагозапасы, в 2003 г. – высокие температуры. В 2004 г. под повышенный фон удобрений не хватило влагозапасов, а в 2005 г., наоборот, на варианте без удобрений наблюдался избыток влаги. В целом за 5 лет наблюдений установлено, что продолжительность периода 3 листа – конец кущения при условиях, близких к среднесуточным, растения выравнивают на уровне 19-21 сутки. Возможные отклонения можно компенсировать либо повышенным фоном питания, либо влагообеспеченностью.

В ходе исследований также установлено положительное влияние продолжительности фазы 3 листа – конец кущения на конечную урожайность ярового тритикале, что отражено на рис. 2.

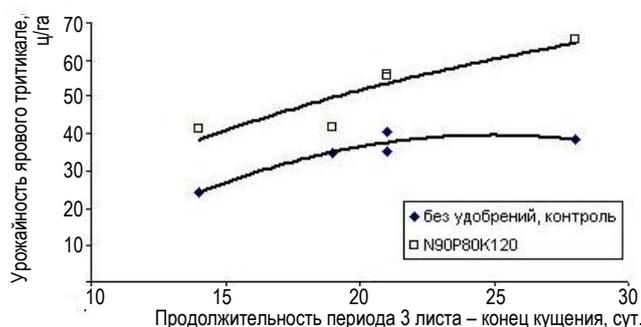


Рис. 2. Зависимость между урожайностью ярового тритикале и продолжительностью периода 3 листа – конец кущения

При анализе влияния факторов конкретной фазы на конечную урожайность можно применять предложенные ранее различными исследователями показатели. Например, Д.И. Шашко предложил метод расчета возможного урожая по биоклиматическому показателю продуктивности (БКП) по соотношению:

$$БКП = K_p \frac{\sum t > 10^\circ}{1000^\circ},$$

где K_p – коэффициент биоклиматической продуктивности растения,

$\sum t > 10^\circ$ – сумма температур выше 10°C , 1000° – сумма температур выше 10°C

северной границе земледелия. Величина возможного урожая определяется по формуле:

$$У = В \cdot БКП,$$

где $В$ – эмпирический коэффициент, зависящий от неучтенных в уравнении факторов.

Формула Д.И. Шашко представляет собой пропорциональную зависимость урожайности от суммы активных температур. Наблюдаемые нами зависимости продолжительности фазы 3 листа – конец кущения и урожайности от суммы среднесуточных температур при достаточной влагообеспеченности не противоречат формуле Д.И. Шашко. Вместе с тем сугубо эмпирический подход не позволяет широко использовать данную зависимость в практических расчетах.

Период кущения – флаговый лист

Ответственным периодом при формировании урожая является период максимального прироста. Причем давно установлено чрезвычайно важное значение периода максимального прироста для формирования урожая, когда в течение одной декады соз-

дается значительная доля урожая. Изучаемый нами этап кущение – флаговый лист можно отнести к периоду максимального прироста. В этот период идет рост вегетативных органов и закладываются репродуктивные органы.

«На III этапе органогенеза образуются сегменты (будущие колос, початок и т.д.). Чем благоприятнее условия для ростовых процессов на этом этапе, тем больше формируется сегментов, тем длиннее будет колос, крупнее початок. III-IV этапы органогенеза у большинства растений проходят еще в фазе кущения или в начале выхода в трубку. Если IV этап проходит слишком быстро или в неблагоприятных условиях для роста растений (недостаточная обеспеченность влагой и элементами питания, экстремально высокие температуры), то число органов в соцветии резко сокращается и происходит редукция, отмирание (усыхание) части колосковых бугорков и зачаточных веточек соцветия. Чем благоприятнее условия для роста в этот период, тем больше образуется колосков в колосе, метелке, початке» [1]. Известна рекомендация: «Чтобы увеличить длину продуктивной части будущего колоса, необходимо *продлить* период образования бугорков – будущих колосков или же создать условия более интенсивной их закладки до появления пыльников» [11].

При изучении фазы кущение – флаговый лист мы наблюдали следующее. Урожайность зерновых также зависит от запасов влаги и суммы температур в эту фазу. Сохранилась положительная корреляция урожайности как с влагозапасами, так и с общей суммой температур в этот период, но зависимость урожайности от хода температур и влагозапасов приобрела другой вид: для хорошего урожая растениям требовались ежедневно не прохладные температуры при достатке влаги, а умеренные и высокие температуры при достатке влаги. Чем выше произведение среднемаксимальных температур за период на влагозапасы, тем выше шансы получить высокие урожаи (см. рис. 3). Продолжительность периода была одинаковой у четырех лет (21 день), а в 2003 г., который характеризовался более высокими ежедневными температурами и

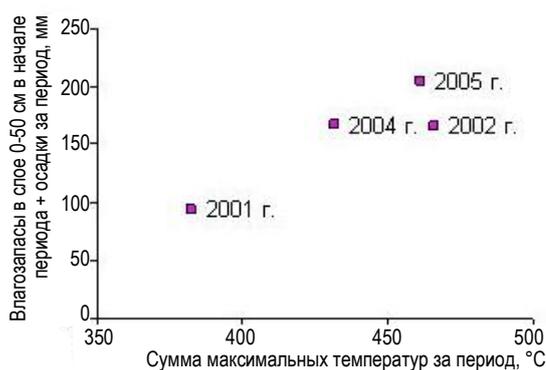


Рис. 3. Соотношение между влагозапасами, осадками и суммой температур для периода конца кущения – флаговый лист для лет с одинаковой продолжительностью периода (21 день)

отсутствием осадков в течение всего периода, продолжительность значительно сократилась (14 дней). Кроме того, сокращение продолжительности данного периода является, очевидно, также следствием короткого предшествующего периода 3 листа – конец кущения в том же году. Однозначно можно сказать, что экстремально высокие температуры при недостатке влаги уменьшают продолжительность этого периода, и в результате отрицательно влияют на конечный урожай.

Одинаковая продолжительность периода в ряде лет (21 день в 2001, 2002, 2004, 2005 гг.) с разными условиями еще раз подтверждает наличие адаптационных механизмов в растениях. Можно предположить, что как и в предыдущий период (3 листа – конец кущения) растения «выходят» на эту продолжительность.

Продолжительности дальнейших стадий развития растений также имели тенденцию увеличения при увеличении показателей влаги и сумм температур и при совместном влиянии этих факторов.

Распространенное мнение о том, что скорость развития растений зависит от эффективной температуры, и как только накопится сумма эффективных температур, необходимая определенному виду и сорту растений для вступления в очередную фазу, растение перейдет в другую фазу (по А.А. Щиголеву), наши исследования не подтвердили. Сумма температур и влага неоднозначно влияют на продолжительность периодов и фаз развития. По крайней мере, температурный предел, при накоплении которого растение обязательно перейдет в другую фазу, в годы исследований для условий Полесского региона не подтвержден. Но установлено, что период кущения при прохладных ежедневных температурах и достатке влаги продлевается, и растение успевает накопить в итоге больше солнечной энергии. Оптимальность условий для разных фаз оказалась разной.

Заключение

В статье рассмотрены две фазы развития ярового тритикале: 3 листа – конец кущения и кущение – флаговый лист. Эти периоды являются самыми ответственными при формировании урожая. Это время максимального прироста.

Для исследуемых нами лет выявлена следующая тенденция: чем длиннее фаза 3 листа – конец кущения, тем выше урожайность ярового тритикале. Продолжительность данной фазы в условиях хорошего обеспечения влагой имела обратную корреляцию с ходом среднесуточных и максимальных температур, и положительную корреляцию – с влагозапасами. Период был длиннее при более прохладных температурах и достатке влаги.

Урожайность зерновых также зависит от запасов влаги и суммы температур в фазу кущение – флаговый лист. Наблюдается положительная корреляция урожайности как с влагозапасами, так и с суммой температур в этот период.

Вывод

Сумма температур и влага неоднозначно влияют на продолжительность фаз развития. По крайней мере, температурный предел, при накоплении которого растение обязательно перейдет в другую фазу, в исследуемые годы для условий Полесья не установлен. Оптимальность условий тепла и влаги для разных фаз развития ярового тритикале оказалась различной.

Литература

1. Семененко Н.Н. Прогрессивные системы применения азотных удобрений. – Мн.: БИТ «Хата», 2003. – 162 с.
2. Ковалев В.М. Теория урожая. – М.: Изд-во МСХА, 2003. – 332 с.
3. Полуэктов Р.А., Смоляр Э.И., Терлеев В.В., Топаж А.Г. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур. – Л.: Изд-во СпБ. университета, 2006. – 391 с.
4. Строганова М.А. Математическое моделирование формирования качества урожая. – Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 151 с.
5. Сиротенко О.Д. Математическое описание водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. – 167 с.
6. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – М.: Гидрометеоиздат, 1988. – 320 с.
7. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 200 с.
8. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1984. – 264 с.
9. Волкова Е.И. Связь урожайности с тепловлагообеспеченностью по фазам развития сельскохозяйственных культур. // Мелиорация переувлажненных земель. – № 2(56), 2006. – С. 85-93.
10. Уланова Е.С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 304 с.
11. Борисоник З.Б. Ячмень яровой. – М.: Колос, 1974. – 256 с.

Summary

Likhatsevich A., Semenenko N., Volkova E., Zhuravlev V. Influence of the Moisture-Heat Supply on Duration of the Phenological Phases of the Spring Triticale Development

The prediction of yield crop by the meteorological factors in due time or at the initial stages of grains development is of great practical significance for the agriculture. The article is dedicated to the results of research of the influence of moisture, accumulated temperatures at the initial phases of development on the spring triticale crop yield. The influence of the same factors on duration of the periods "3 leaves – end of bushing out", "end of bushing out – flag leaf" of the spring triticale development is considered. It was ascertained that duration of the periods depends not only on the accumulated temperatures, but on the complex of factors. Under the favorable environmental conditions the durations of the spring triticale phases are prolonged, which may positively affect the final yield crop increase.

Поступила 12 декабря 2006 г.