

УДК 633.11 «324»:631.559:631.84

**ТРЕНДОВАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ,
ВОЗДЕЛЫВАЕМОЙ ПРИ РАЗНЫХ ДОЗАХ АЗОТНОГО УДОБРЕНИЯ
НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ
С РАЗЛИЧНЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ГУМУСА**

В. Б. ВОРОБЬЕВ, В. В. КОЗЛОВА

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Беларусь, 2013407, e-mail: veronika-26.10.87@mail.ru

(Поступила в редакцию 14.07.2017)

В статье приводятся трендовые модели изменения урожайности зерна и соломы озимой пшеницы в зависимости от количества азотных подкормок и гумусированности почвы. Доказано, что оптимальное содержание гумуса в почве для этой культуры находится в пределах от 1,80–2,20 %. При таком содержании гумуса на фоне фосфорно-калийного удобрения ($P_{60}K_{120}$) в варианте без применения азота урожайность зерна составила в среднем за три года исследований от 39,2 до 40,1 ц/га. Ранневесенняя азотная подкормка в дозе 90 кг д.в./га обеспечила в среднем урожайность зерна от 47,9 до 48,8 ц/га. Дополнительные подкормки азотом в фазу конец кошения – начало выхода в трубку, а также в фазу флагового листа увеличили урожайность соответственно до 55,2–55,8 и 57,7–58,3 ц/га. При гумусированности почвы 1,80–2,20 % была получена и наиболее высокая урожайность соломы. Она составила соответственно перечисленным вариантам азотного питания 41,5–42,0; 51,8–52,4; 56,4–57,7 и 60,7–61,2 ц/га.

Ключевые слова: урожайность, озимая пшеница, азотные подкормки, гумус, трендовая модель.

The article presents trend models of changes in the yield of grain and straw of winter wheat, depending on the amount of nitrogen fertilizing and humus content of the soil. We have proven that the optimum content of humus in the soil for this crop is in the range from 1.80-2.20 %. With such a humus content against the background of phosphate-potassium fertilizer ($P_{60}K_{120}$), in the non-nitrogen variant, grain yields averaged from 3.92 to 4.01 t / ha over three years of research. Early spring nitric fertilizing in a dose of 90 kg of acting substance / ha provided an average yield of grain from 4.79 to 4.88 t / ha. Additional nitrogen fertilization in the phase 'end of tillering – the beginning of stalking', as well as in the phase of flag leaf, increased the yields to 5.52-5.58 and 5.77-5.83 t / ha, respectively. With soil humus content of 1.80-2.20%, the highest yield of straw was obtained. In the listed options of nitrogen nutrition, it amounted to 4.15-4.20; 5.18-5.24; 5.64-5.77 and 6.07-6.12 t / ha, respectively.

Key words: yield, winter wheat, nitrogen fertilizing, humus, trend model.

Введение

Общеизвестно, что гумус оказывает на урожай прямое и косвенное влияние. Прямое влияние обусловлено использованием растениями содержащегося в гумусе азота и других питательных веществ, освобождающихся при его минерализации. Косвенное – в улучшении условий произрастания растений и повышении коэффициентов использования питательных веществ из удобрений [3]. Вместе с тем существуют данные, говорящие о том, что при высоком содержании гумуса урожайность сельскохозяйственных культур невелика, и наоборот, имеются примеры наличия высокого эффективного плодородия у мало-гумусированных почв [1]. Именно поэтому, весьма актуальным является выявление наиболее оптимальных параметров содержания в почве гумуса, а также изучение взаимосвязей между урожайностью сельскохозяйственных растений и гумусированностью почвы.

В настоящее время в литературе имеется огромное количество данных, говорящих о том, что одним из основных факторов, определяющих потенциальное плодородие почвы, является содержание в ней гумуса. Не случайно между гумусированностью почвы и урожайностью сельскохозяйственных культур существует тесная взаимосвязь. Так, по данным Т. Н. Кулаковской [6], в интервале гумусированности дерново-подзолистой почвы от 1,35 % до 3,08 % увеличение содержания гумуса на 0,5 % сопровождается ростом урожайности зерна ячменя на 5–6 ц/га.

По данным А. М. Лыкова [7,8], повышение содержания углерода гумуса в дерново-подзолистой почве с 0,5–1,0 до 1,5–2,0 % обеспечивает удвоение урожаев зерновых и пропашных культур. Наличие тесной взаимосвязи между урожайностью ячменя и содержанием в почве гумуса установлена Г. И. Найденко, И. М. Богдевича, Н. Н. Семененко и др. [9].

Н. Ф. Ганжара и В. И. Кирюшин [2] также отмечают, что содержание гумуса и урожай могут находиться в тесной корреляционной связи, поскольку они зависят от тех же факторов и имеют одинаковую направленность изменений.

Объясняется это в первую очередь тем, что органическое вещество почвы является для растений важным источником питательных веществ и в первую очередь азота [11, 10]. В нем сосредоточено до 97–99 % азота почвы [4, 5], т. е. почвы с высокой гумусированностью отличаются большими запасами этого элемента. Именно поэтому важно знать, как изменяется эффективность азотных удобрений на почвах с различным содержанием гумуса. В связи с этим цель наших исследований заключалась в изучении эффективности азотных подкормок в посевах озимой пшеницы, возделываемой на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с различным содержанием гумуса. При этом ставились задачи определить оптимальную гумусированность почвы для этой культуры и разработать математическую модель, позволяющую с достаточной точностью прогнозировать урожайность озимой пшеницы в зависимости от азотных подкормок и содержания в почве гумуса.

Основная часть

Исследования проводились в 2012, 2015 и 2016 гг. в производственных посевах озимой пшеницы учебно-опытного хозяйства УО БГСХА. Для этого были подобраны два поля с выровненным рельефом и автоморфными условиями увлажнения, расположенные на почве одного генезиса и имеющие одинаковую историю. Почва опыта дерново-подзолистая легкосуглинистая, развивающаяся на лессе.

Ежегодно на одном из подобранных полей с существенным различием в содержании гумуса выделялся массив опытного участка протяженностью около 1 км и шириной 60 м, на котором на фоне $P_{60}K_{120}$, внесенных в основную заправку изучались 3 варианта азотных подкормок: N_{90} , N_{90+30} и $N_{90+30+30}$. Первая подкормка проводилась в начале весенней вегетации растений, вторая и третья – в фазу конец кущения – начало выхода в трубку и в фазу флагового листа. Контролем служил вариант без азотных подкормок. Объект исследования – озимая пшеница сорта Богатка. Предшественником являлся озимый рапс. Норма высева озимой пшеницы – 5 млн всхожих семян на гектар. Уход за посевами включал: обработку гербицидом «Марафон» и обработку фунгицидом «Рекс Дуо». В основную заправку под озимую пшеницу было внесено 2,4 ц/га аммонизированного суперфосфата и 2 ц/га хлористого калия. На каждом варианте азотного удобрения было выделено по 36 учетных площадок размером 0,52 м², с которых учитывали урожайность зерна и соломы, отбирались образцы почвы для анализа их гумусового состояния и агрохимических свойств. Результаты исследований подвергнуты корреляционному анализу. Метеорологические условия в годы проведения исследований существенно различались между собой. В совокупности они оказали влияние на динамику формирования урожая и его конечную величину. Однако в целом агрометеорологические условия в годы закладки и проведения опытов можно охарактеризовать как благоприятные для роста и развития зерновых культур.

Установлено, что при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с содержанием гумуса от 1 до 3-х и более % между гумусированностью почвы с одной стороны и урожайностью зерна и соломы с другой существуют криволинейные корреляционные связи, имеющие вид парабол с вершинами, соответствующими оптимальному уровню гумусированности почвы. Возделывание изучаемой культуры на участках с содержанием гумуса выше и ниже оптимального значения приводит к снижению урожайности.

Следует отметить, что оптимальное содержание гумуса в почве для той или иной культуры во многом определяются погодными условиями в годы проведения исследований, уровнем минерального питания растений, своевременностью и качеством проведения агротехнических работ. Поэтому значения оптимального содержания в почве гумуса в отдельные годы могут отличаться. Кроме того, при изучении эффективности удобрений на почвах с различным содержанием гумуса практически невозможно создать варианты с одинаковой гумусированностью почвы, что в конечном итоге существенно затрудняет по-

лучение достоверных выводов. Для устранения этого недостатка нами на основании результатов трех лет исследований были рассчитаны уравнения полиномиальных линий тренда изменения урожайности зерна озимой пшеницы, возделываемой на почве с различным содержанием гумуса при разных дозах азотного удобрения (табл. 1). Для этого в совокупности было использовано около 450 пар сравнения.

Таблица 1. Уравнения полиномиальных линий тренда изменения урожайности зерна озимой пшеницы (Y, ц/га)

в зависимости от содержания в почве гумуса (X, %) при разных дозах азотного удобрения

Дозы азотного удобрения, кг д.в./га	Уравнения полиномиальных линий тренда	Коэффициент аппроксимации, R ²	Интервал содержания в почве гумуса, %
Без азота	$Y = -12,604X^2 + 52,583X - 14,601$	0,62	1,0–3,0
N ₉₀	$Y = -12,813X^2 + 52,795X - 5,5733$	0,63	1,0–3,2
N ₉₀₊₃₀	$Y = -13,252X^2 + 53,33X + 2,1084$	0,63	1,0–3,0
N ₉₀₊₃₀₊₃₀	$Y = -11,685X^2 + 45,95X + 13,183$	0,63	1,0–3,4

Достоверность представленных в таблице уравнений полиномиальных линий тренда подтверждается коэффициентами аппроксимации. Этот коэффициент показывает степень соответствия трендовой модели исходным данным. Его значение может лежать в диапазоне от 0 до 1. Чем ближе R² к 1, тем точнее модель описывает имеющиеся данные. В нашем случае он находится в пределах от 0,62 до 0,63. Это говорит о том, что от 62 до 63 % всех изменений урожайности зерна озимой пшеницы были обусловлены изменением содержания в почве гумуса. На основании полученных уравнений была разработана трендовая модель изменения урожайности зерна озимой пшеницы, в зависимости от доз азотного удобрения и содержания в почве гумуса (рис. 1).

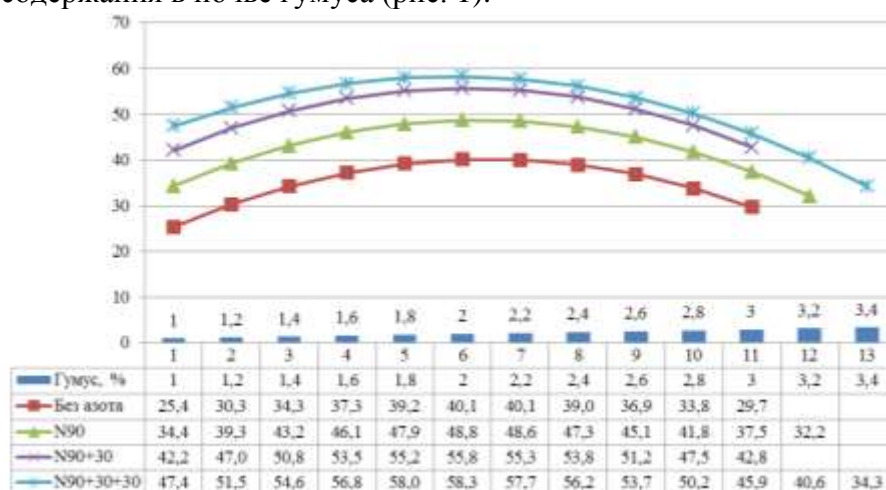


Рис. 1. Трендовая модель изменения урожайности зерна озимой пшеницы в зависимости от доз азотного удобрения и содержания в почве гумуса

Анализ данной математической модели показывает, что при всех уровнях азотного питания наиболее высокую урожайность зерна озимой пшеницы обеспечивает содержание в почве гумуса в пределах от 1,80 до 2,20 %. Согласно данной модели, в варианте без азотного удобрения в интервале гумусированности почвы от 1,20 до 3,00 % средняя урожайность зерна озимой пшеницы составляет 35,1 ц/га. При этом максимальное значение данного показателя (40,1 ц/га) соответствует содержанию гумуса в почве от 2,0 до 2,2 %.

В варианте с ранневесенней азотной подкормкой в дозе 90 кг д.в./га среднее значение урожайности зерна по сравнению с контрольными делянками возрастает на 24,3 %. Как и в предыдущем варианте, наибольшее значение данного показателя (48,8 ц/га) соответствует делянкам с содержанием гумуса около 2,0 %. Дополнительная азотная подкормка в фазу конец кущения–начало выхода в трубку (30 кг д.в./га) повышает урожайность зерна по сравнению с вариантом с одной ранневесенней подкормкой в среднем на 6,82 ц/га (15,6 %). При этом наиболее высокая урожайность зерна (55,2–55,8 ц/га) соответствует содержанию гумуса в почве 1,80–2,20 %.

И наконец, подкормка азотом посевов озимой пшеницы в фазу флагового листа (30 кг д.в./га) увеличивает урожайность по сравнению с предыдущей подкормкой в среднем на

3,2 ц/га, или на 6,3 %. В этом варианте опыта оптимальное содержание в почве гумуса было равно 1,8–2,20 %. При такой гумусированности почвы урожайность зерна составляет 57,7–58,3 ц/га.

Уравнения полиномиальных линий тренда и трендовая модель изменения урожайности соломы озимой пшеницы при разных дозах азотного удобрения и различном содержании в почве гумуса представлены в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 2. Уравнения полиномиальных линий тренда изменения урожайности соломы озимой пшеницы (Y, ц/га)

в зависимости от содержания в почве гумуса (X, %) при разных дозах азотных удобрений

Дозы азотного удобрения, кг д.в./га	Уравнения полиномиальных линий тренда	Коэффициент аппроксимации, R ²	Интервал содержания в почве гумуса, %
Без азота	$Y = 3,2203X^3 - 26,623X^2 + 69,102X - 15,426$	0,20	1,0–3,0
N ₉₀	$Y = -0,4741X^4 + 9,2867X^3 - 54,996X^2 + 122,67X - 39,701$	0,40	1,0–3,4
N ₉₀₊₃₀	$Y = 8,6436X^3 - 65,89X^2 + 156,21X - 60,425$	0,42	1,0–3,2
N ₉₀₊₃₀₊₃₀	$Y = -9,5173X^2 + 37,727X + 23,773$	0,27	1,0–3,4

Данная модель показывает, что при всех уровнях азотного питания наиболее высокую урожайность соломы озимой пшеницы обеспечивает содержание в почве гумуса 1,80–2,20 %. Коэффициент аппроксимации, характеризующий соответствие разработанной модели фактическому распределению зависимого признака (урожайность соломы) был невысоким и находился в пределах от 0,20 до 0,42. Это в первую очередь объясняется довольно существенными различиями в содержании гумуса, обеспечивающем максимальный выход соломы в отдельные годы исследований.

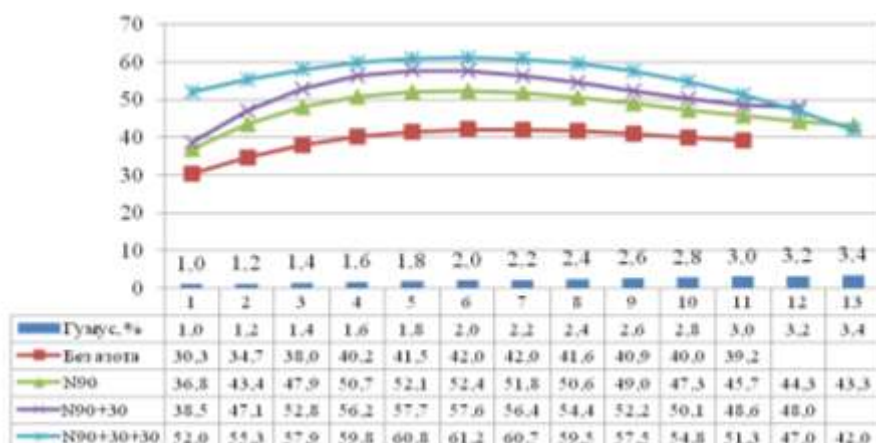


Рис. 2. Трендовая модель изменения урожайности соломы озимой пшеницы в зависимости от доз азотного удобрения и содержания в почве гумуса

Данная модель достаточно точно отражает закономерности изменения урожайности соломы изучаемой культуры в зависимости от содержания в почве гумуса и дозы азотного удобрения. Ее с успехом можно использовать для прогнозирования количества побочной продукции, получаемой при возделывании озимой пшеницы.

Заключение

Обобщая вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1. При возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с содержанием гумуса от 1 до 3-х и более % между гумусированностью почвы и урожайностью зерна существует сильная криволинейная корреляционная связь, имеющая вид параболы с вершиной, соответствующей оптимальному уровню гумусированности почвы. Возделывание изучаемой культуры на участках с содержанием гумуса выше и ниже оптимального приводит к снижению урожайности.

2. На всех уровнях азотного питания наиболее высокая продуктивность озимой пшеницы была получена на делянках с содержанием в почве гумуса около 1,80–2,20 %. При таком содержании гумуса на фоне фосфорно-калийного удобрения (P₆₀K₁₂₀) в варианте без азота урожайность зерна составила в среднем за три года исследований от 39,2 до 40,1

ц/га. Ранневесенняя подкормка в дозе 90 кг д.в./га обеспечила в среднем урожайность зерна от 47,9 до 48,8 ц/га. Дополнительные подкормки азотом в фазу конец кушения – начало выхода в трубку, а также в фазу флагового листа увеличили урожайность соответственно до 55,2–55,8 и 57,7–58,3 ц/га.

При содержании в почве гумуса около 1,80–2,20 % была получена и наиболее высокая урожайность соломы, которая составила соответственно перечисленным вариантам азотного питания 41,5–42,0; 51,8–52,4; 56,4–57,7 и 60,7–61,2 ц/га.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев, В. Б. Закономерности изменения гумусного состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы под влиянием антропогенной нагрузки: монография / В. Б. Воробьев. – Горки: БГСХА, 2012. – 160 с.
2. Ганжара, Н. Ф. Критерии оптимизации режима органического вещества и гумусового состояния почв / Н. Ф. Ганжара, В. И. Кирюшин // Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах. – М.: Изд-во МСХА, 1993. – С. 69–76.
3. Жуков, А. И. Регулирование баланса гумуса в почве / А. И. Жуков, П. Д. Попов. – Москва, Росагропромиздат, 1988. – 40 с.
4. Кононова, М. М. Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения / М. М. Кононова. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 314 с.
5. Кулаковская, Т. Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений / Т. Н. Кулаковская. – М.: Агропромиздат, 1990. – 220 с.
6. Кулаковская, Т. Н. Современные данные о роли органического вещества в плодородии почв / Т. Н. Кулаковская // Проблемы накопления и использования органических удобрений. – Минск, 1976. – С. 10–20
7. Лыков, А. М. Гумус и плодородие почв / А. М. Лыков. – М.: Моск. рабочий, 1985. – 192 с.
8. Лыков, А. М. Современное состояние и пути улучшения гумусового баланса пахотных почв Нечерноземной зоны РСФСР / А. А. Лыков // ТСХА. – М., 1977. – Вып. 3. – С. 21–28
9. Эффективность азотных удобрений под ячмень в зависимости от содержания подвижных форм азота и гумуса в дерново-подзолистых почвах / Г. И. Найденко [и др.] // Диагностика азотного питания сельскохозяйственных культур по содержанию почвенного азота, сборник научных трудов. Центральный институт агрохимического обслуживания сельского хозяйства. – Москва, 1981. – С. 57–61
10. Плотникова, Т. А. Испытание растворов NaOH разной концентрации при извлечении гумусовых веществ из почв / Т. А. Плотникова // Почвоведение. – 1971. – №11. – С. 58–69.
11. Тейт, Р. Органическое вещество почвы: Биологические и экологические аспекты: перевод с англ. / Р. Тейт. – М., 1991. – 400 с.