

---

## Критическое содержание фосфора в кормовых злаковых травах умеренного пояса

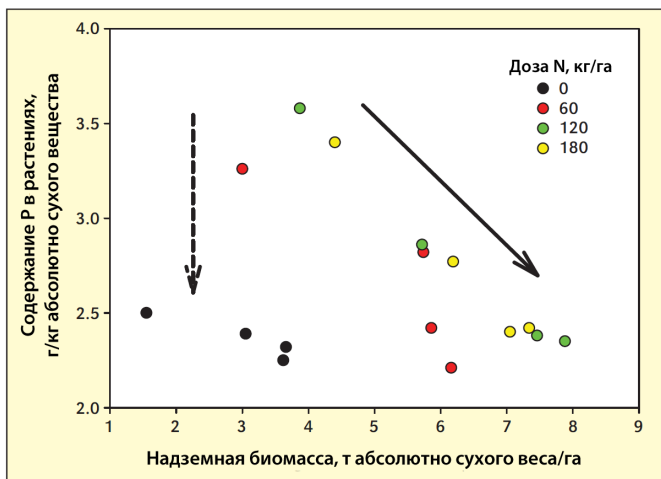
Ж. Беланже и Н. Зиади

*Усовершенствованные методы прогнозирования потребности полевых культур, включая кормовые травы, в фосфорных удобрениях необходимы для минимизации риска загрязнения поверхностных и грунтовых вод в результате избыточного применения удобрений и в тоже время для достаточного внесения фосфора с целью оптимизации урожайности.*

*Так как содержание подвижного фосфора в почве – это не всегда надежный показатель для установления потребности в фосфорных удобрениях, фосфорный статус растений может служить альтернативным или дополнительным индикатором доступности почвенного фосфора.*

**М**етоды растительной диагностики, используемые для количественной характеристики питательного статуса растений, в том числе фосфорного, основываются на определении критического содержания конкретного элемента питания в растениях – минимальной концентрации, требуемой для достижения максимального роста растений и урожайности. Содержание фосфора в растениях, как и содержание азота, снижается в

процессе их роста; содержание фосфора в растениях также уменьшается при снижении содержания азота вследствие недостатка последнего (рис. 1). Эта тесная зависимость между содержанием фосфора и азота в растениях была подтверждена для нескольких полевых культур, включая кукурузу (Ziadi и др., 2007), пшеницу (Bélanger и др., 2015a), рапс (Bélanger и др., 2015b) и кормовые травы (Bélanger и Ziadi, 2008), что привело к разработке моделей кри-



**Рис. 1.** Пример, иллюстрирующий снижение содержания фосфора в тимфеевке луговой в период весеннего отрастания (сплошная линия) и снижение содержания фосфора в связи с недостатком азота (пунктирная линия). Составлено на основе данных Беланже и Зиади (Bélanger и Ziadi, 2008).

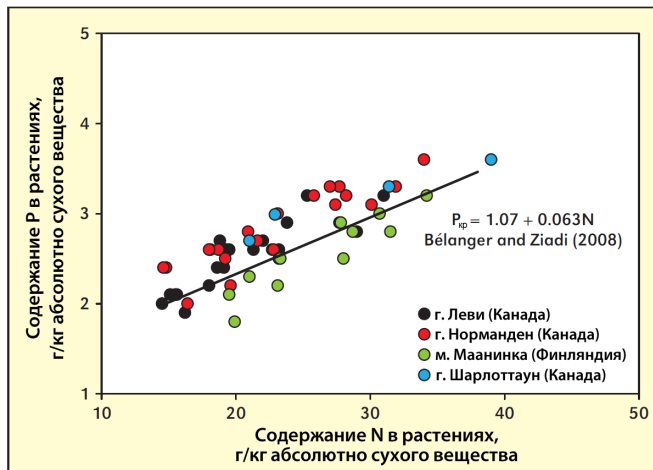
тического содержания фосфора ( $P_{кр}$ ), представленного в виде функции от содержания азота в надземной биомассе.

Модели критического содержания фосфора в кормовых травах, использующие функцию от содержания азота, были впервые разработаны во Франции для многолетних трав и долголетних пастбищ (Duru и Ducrocq, 1997) и позднее – для тимфеевки луговой – основного вида кормовых трав в восточной Канаде и скандинавских странах (Bélanger и Ziadi, 2008). Модель критического содержания фосфора для тимфеевки луговой ( $P_{кр}$ , г/кг абсолютно сухого вещества) в виде функции от содержания азота (N, г/кг абсолютно сухого вещества) была разработана, как предполагалось, для условий достаточной обеспеченности почвы фосфором для роста растений (Bélanger и Ziadi, 2008):

$$P_{кр} = 1.07 + 0.063N$$

### Мультилокационное исследование

Первое исследование мы проводили на травостоях тимфеевки луговой в восточной Канаде – один опыт при достаточной обеспеченности почвы фосфором. Наша модель, однако, не оценивалась при разном фосфорном статусе растений, в разных почвенно-климатических условиях и для разных типов травостояев. Это побудило нас провести мультилокационное исследование для подтверждения применимости модели критического содержания фосфора как для травостояев тимфеевки луговой, так и для многовидовых травостояев (Bélanger и др., 2017). Изучение разных доз фосфорных удобрений проводилось в течение 2-5-ти лет подряд на травостоях тимфеевки луговой в Канаде (г. Леви и г. Норманден в провинции Квебек, г. Шарлоттаун в провинции Остров Принца Эдуарда) и Финляндии (муниципалитет Маанинка), а также на многовидовых травостояях в длительных опытах с фосфорны-



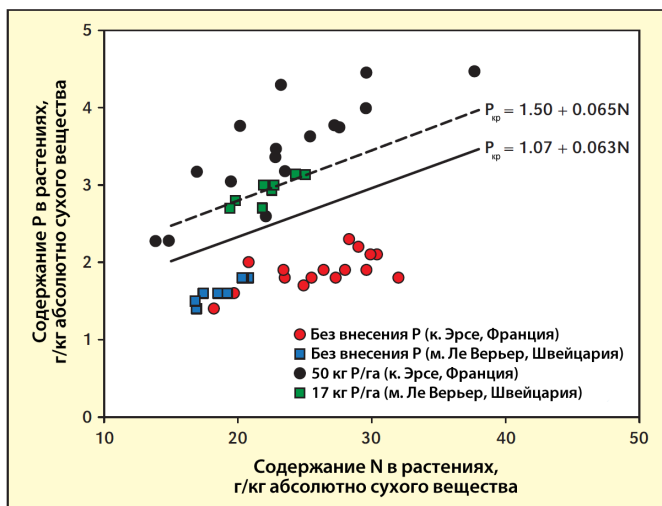
**Рис. 2.** Содержание фосфора в тимфеевке луговой в период весеннего отрастания как функция от содержания азота при нелимитированном фосфорном питании в 4-х опытах и модель критического содержания фосфора ( $P_{кр}$ , линия) Беланже и Зиади (Bélanger и Ziadi, 2008). Адаптировано из: Bélanger и др., 2017.

ми удобрениями в Швейцарии (муниципалитет Ле Верьер) и Франции (коммуна Эрсе). Урожайность абсолютно сухого вещества и содержание общего азота и фосфора в кормовых травах определялись четырежды с недельными интервалами в период весеннего отрастания, а именно: вегетативная фаза – конец колошения. Затем мы выделили массив данных по содержанию фосфора и азота в травах, когда с увеличением доз фосфорных удобрений не наблюдалось дальнейшего прироста надземной биомассы; этот массив данных соответствовал условиям нелимитированного фосфорного питания.

В четырех опытах с тимфеевкой луговой данные по содержанию фосфора и азота в траве при нелимитированном фосфорном питании были близки к величинам критического содержания фосфора, предсказанным нашей моделью, которая изначально разрабатывалась для данной культуры (Bélanger и Ziadi, 2008; рис. 2). Однако в двух опытах с многовидовыми травостоями данные по содержанию фосфора и азота в травах при нелимитированном фосфорном питании были ближе к величинам критического содержания фосфора, предсказанным моделью Дуру и Дукрока (Duru и Ducrocq, 1997), чем к величинам, предсказанным нашей моделью (Bélanger и Ziadi, 2008; рис. 3). Наши результаты подтверждают оптимальную зависимость между содержанием фосфора и азота в тимфеевке луговой и многовидовых травостояях, но с различиями между ними относительно данной зависимости.

### Ограничения и минусы

Наши исследования, проведенные с кормовыми травами и другими культурами, показали, что модель критического содержания фосфора может быть плохо применима при серьезном дефиците или избытке азота (Bélanger и Ziadi, 2008; Bélanger и др., 2015a). Однако производители, применяющие адекватные дозы азотных удобрений для оптимиза-



**Рис. 3.** Содержание фосфора в разнотравье в период весеннего отрастания как функция от содержания азота при лимитированном (без внесения фосфора) и нелимитированном (внесение максимальной дозы фосфора) фосфорном питании в 2-х длительных опытах. Приведены модели критического содержания фосфора ( $P_{кр}$ ) Дуру и Дукрока ( $P_{кр} = 1.50 + 0.065N$ ; Duru и Ducrocq, 1997), а также Беланже и Зиади ( $P_{кр} = 1.07 + 0.063$ ; Bélanger и Ziadi, 2008). Адаптировано из: Bélanger и др., 2017.

ции урожайности без создания серьезного дефицита или избытка азота, могут уверенно использовать нашу модель. Разработка достоверных моделей  $P_{кр}$  требует больших массивов данных с поэтапным отбором растительных образцов в течение ростовых циклов и внесением нескольких доз фосфора. В некоторых случаях (например, в к. Эрсе, Франция) может наблюдаться избыточное поглощение фосфора, и существует риск завышенной оценки  $P_{кр}$ , если высокие дозы фосфорных удобрений не приводят к увеличению урожайности трав, но повышают содержание в них фосфора. Наша модель  $P_{кр}$  для тимфеевки луговой была разработана для условий весеннего отрастания растений и еще не прошла валидацию для периода летнего отрастания.

Критическое содержание фосфора в растениях – важный инструмент для оценки фосфорного статуса кормовых трав в течение вегетационного периода и, косвенно, доступности почвенного фосфора. Для каждого конкретного условия может быть рассчитан индекс Р-питания (P nutrition index, PNI) как отношение содержания фосфора в растениях к величине  $P_{кр}$ . Значения индекса Р-питания  $\geq 1.0$  свидетельствуют о достаточном фосфорном питании растений, а значения  $< 1.0$  указывают на недостаток фосфора. Данный метод растительной диагностики фосфорного питания может использоваться для прогнозного диагностирования с целью применения фосфорных удобрений в соответствии с потребностями растений в фосфоре в течение вегетационного периода или для послуборочного диагностирования с целью выявления лимитирующих факторов для культур в полевых опытах или

производственных посевах. Так как недостаток фосфора трудно устраняется за счет проводимого в том же году внесения фосфорных удобрений, производители могут использовать этот инструмент для уточнения доз фосфорных удобрений в последующие вегетационные периоды.

Данный подход к характеристике доступности почвенного фосфора, основанный на растительной диагностике, может быть альтернативой или дополнением к наиболее широко используемому для прогнозирования потребности в фосфорных удобрениях почвенным индикаторам. Для адаптации данного подхода в соответствии с практикой применения удобрений в производственных условиях мы исследуем в настоящее время: (i) пространственную изменчивость индекса Р-питания для ряда полей в восточной Канаде с целью определения оптимального количества точек пробоотбора и (ii) зависимость между растительными (индекс Р-питания) и почвенными (содержание фосфора в почве) индикаторами доступности фосфора и отзывчивостью кормовых трав на фосфорное удобрение.

Д-р Ж. Беланже и д-р Н. Зиади – научные сотрудники Квебекского научно-исследовательского центра Министерства сельского хозяйства и продовольствия Канады (г. Квебек, Канада, e-mail: [gilles.belanger@agr.gc.ca](mailto:gilles.belanger@agr.gc.ca) и [noura.ziadi@agr.gc.ca](mailto:noura.ziadi@agr.gc.ca)).

## Литература

- Bélanger, G., and N. Ziadi. 2008. *Agron. J.* 100:1757-1762.  
 Bélanger, G. et al. 2015a. *Agron. J.* 107:963-970.  
 Bélanger, G. et al. 2015b. *Agron. J.* 107:1458-1464.  
 Bélanger, G. et al. 2017. *Field Crops Res.* 204:31-41.  
 Duru, M., and H. Ducrocq. 1997. *Nutr. Cycl. Agroecosys.* 47:59-69.  
 Ziadi, N. et al. 2007. *Agron. J.* 99:833-841.

Редактирование перевода с английского: В.В. Носов.



**Опытные делянки** по изучению применения фосфорных удобрений на тимфеевке луговой: г. Леви, провинция Квебек (Канада), 2011 г.