DOI: 10.26898/0370-8799-2018-2-13

УДК631.454:633.11:633.853.492

**ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В ПОЧВЕ ПОСЛЕУБОРОЧНЫХ
ОСТАТКОВ ПШЕНИЦЫ И РАПСА**

Я.П. НАЗДРАЧЁВ, старший научный сотрудник,
В.М. ФИЛОНОВ, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией,
Е.В. МАМЫКИН, младший научный сотрудник

*Научно-производственный центр зернового хозяйства им. А.И. Бараева,
021601, Казахстан, Акмолинская область, Шортандинский район,
пос. Научный, ул. Бараева, 15
e-mail: yakov.n.81@mail.ru*

Исследована минерализация растительных остатков пшеницы и рапса и ее влияние на содержание азота в почве с целью корректировки применения удобрений в севообороте. Сравнительную оценку проводили на основе эмиссии углерода из почвы, которую определяли в лабораторных экспериментах абсорбционным методом. Почва – чернозем южный тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Закладку лабораторного опыта проводили 3 раза в семикратной повторности в течение двух месяцев. Показано, что более 50% выделения углерода при разложении растительных остатков пришлось на первые 20 сут эксперимента. Эмиссия углерода в вариантах с остатками пшеницы и рапса отмечена в 3 раза интенсивнее, чем в варианте с почвой без растительных остатков. Разница в выделении углерода в целом за 60 сут эксперимента между послеуборочными остатками пшеницы и рапса не установлена. Отмечено, что остатки рапса в первые 20 сут эксперимента разлагались более активно. Показано, что добавка в почву минерального азота в количестве 50 мг/кг в варианте с соломой за первые 20 сут стимулировала процесс минерализации примерно на 11% и повысила эмиссию углерода. Инкубирование почвы без добавок увеличило количество нитратного азота за 20 сут в 3 раза по сравнению с исходным содержанием, за 40 – в 5 раз, за 60 – в 7 раз. Внесение в почву растительных остатков стимулировало иммобилизацию азота. Содержание нитратного азота в почве с остатками пшеницы и рапса достигло уровня варианта без растительных остатков через 2 мес инкубирования.

Ключевые слова: почва, растительные остатки, пшеница, рапс, эмиссия углерода, иммобилизация и минерализация азота.

При производстве сельскохозяйственной продукции в современном земледелии уделяется большое внимание уменьшению деградации почв и биологизации агротехнологий. Особое значение в решении этих задач отводится использованию растительных остатков, которые являются важным средством регулирования плодородия почвы [1]. Растительные остатки оказывают прямое и косвенное влияние на физические, химические и биологические свойства почвы, ее воздушный, температурный и пищевой режимы [2, 3]. Поступление растительных ос-

татков в почву и их трансформация в гумусовые вещества и органоминеральные комплексы представляет собой один из путей секвестирования углерода и, как следствие, снижения содержания CO₂ в атмосфере [4].

Цель исследования – сравнительная оценка процессов минерализации надземных растительных остатков яровой пшеницы и рапса.

**МАТЕРИАЛЫ
И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Исследование проводили в Научно-производственном центре зернового хозяйства

им. А.И. Бараева в 2013–2015 гг. Опыты проведены на основе оценки эмиссии CO_2 из почвы, которую определяли в модельных лабораторных экспериментах абсорбционным методом [5]. Лабораторный опыт проводили по одной и той же схеме 3 раза. В опытах использовали герметично закрывающиеся пластиковые сосуды объемом 500 мл, в которые помещали по 200 г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с диаметром ячейки 3 мм. В семи сосудах почву перемешивали с 1,5 г измельченных воздушно-сухих пожнивных остатков пшеницы и рапса. Почву в сосудах увлажняли до 60% полной влагоемкости (ПВ) и инкубировали в термостате при 25 °С. В четырех сосудах к почве с водой добавляли азот в виде NH_4NO_3 из расчета 50 мг N/кг почвы. Для определения скорости продуцирования CO_2 на поверхность почвы ставили чашечку диаметром 3,5 см с 5 мл 1 н. (нормальный) NaOH и сосуд закрывали крышкой. После экспозиции, которая в зависимости от скорости эмиссии CO_2 составляла от одних до нескольких суток, остаток щелочи оттитровывали по фенолфталеину 0,1 н. H_2SO_4 и рассчитывали количество выделившегося из почвы CO_2 . Данные пересчитывали в миллиграммах углерода на 1 кг почвы за 0–20, 20–40, 40–60 и 0–60 сут.

Почва – чернозем южный карбонатный тяжелосуглинистый – была отобрана с полей осенью после уборки пшеницы в 2012–2014 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Доступность растительных остатков почвенным микроорганизмам считается основным критерием их качества. Наибольшее влияние на податливость биомассы к разложению оказывает содержание в ней клетчатки и лигнина, а также соотношение углерода и азота (C : N) [2].

По результатам исследований среднее содержание азота в надземной биомассе рапса 1,39% [6]. В соломе пшеницы в среднем содержится 0,78% N [7]. При содержании углерода в воздушно-сухих растительных

остатках примерно 40% отношение C : N в рапсе составляло 1:29, пшеничной соломе – 1 : 51. Хотя у рапса более узкое соотношение C : N в сравнении с соломой пшеницы, но согласно градации Правин-Кумар Ягадиш, С. Тарафдар, Житендра Ранвар, Шиям Катжи [8] остатки пшеницы и рапса характеризовались медленной степенью разложения и низким качеством.

Усредненные данные за три закладки опыта показали, что более 50% выделившегося углерода (C-CO_2) приходилось на первые 20 сут эксперимента, в дальнейшем продуцирование C-CO_2 резко снижалось (рис. 1). Наименьшее количество CO_2 по всем периодам учета выделялось на варианте с почвой без растительных остатков: 449 мг/кг за 0–20 сут, 201 – 20–40 сут, 177 – 40–60 сут и 828 мг/кг за 0–60 сут. Добавка к почве растительных остатков пшеницы и рапса, как с азотным удобрением, так и без него, повышало эмиссию углерода примерно в 3 раза. За первые 20 сут в варианте с соломой пшеницы выделилось 1360 мг/кг C-CO_2 , чуть больше углерода выделилось с пожнивными остатками рапса – 1485 мг/кг. Добавление азота к соломе пшеницы повышало выделение углекислоты в этот период примерно на 11%, до 1512 мг/кг почвы. Внесение минерального азота в почву в варианте с биомассой рапса не приводило к увеличению эмиссии углерода (1509 мг/кг почвы). По результатам исследований [9, 10], внесение азота способствует ускорению разложения соломы пшеницы. В сумме за 60 сут эксперимента различий по выделению CO_2 растительными остатками пшеницы и рапса не установлено. В варианте с остатками пшеницы выделилось 2390 мг C-CO_2 /кг почвы, рапса – 2448 мг C-CO_2 /кг почвы. Дополнительное внесение азота в виде аммиачной селитры не приводило к увеличению эмиссии углерода, которая составила на пшенице 2430 мг C-CO_2 /кг, на рапсе – 2418 мг C-CO_2 /кг почвы.

Отсутствие различий по разложению растительных остатков в целом за период эксперимента объясняется, на наш взгляд, близким содержанием азота в соломе пшеницы и остатках рапса.

Рис. 1. Эмиссия углерода по вариантам лабораторного опыта (в среднем за три закладки опыта)
Fig. 1. CO₂ emissions by treatments in laboratory experiments (on average in three times the experiment was laid)

Поскольку при разложении растительного материала происходит выделение диоксида углерода, то можно рассчитать, какое количество биомассы разложилось за определенное время. Разложение растительных остатков происходит, как правило, в две фазы: вначале с интенсивным выделением CO₂, в последующем с резким уменьшением его продуцирования [11–13]. В наших опытах отмечена аналогичная ситуация.

В среднем за три закладки различия по степени разложения растительных остатков пшеницы и рапса за 60 сут эксперимента отсутствовали, и дополнительное внесение азота удобрений влияния на разложение в

целом за этот период не оказывало. В среднем за 2 мес инкубирования почвы минерализовалось 52–54% углерода от изначально внесенного в почву количества (рис. 2). Небольшое превышение (в виде тенденции) минерализации остатков рапса в сравнении с соломой пшеницы наблюдалось только в первые 20 сут опыта.

В первые 20 сут опыта под влиянием азотного удобрения наблюдалось небольшое ускорение минерализации соломы, для остатков рапса данный эффект не зарегистрирован. В последующие 20–40 сут более интенсивное разложение отмечалось у соломы пшеницы (15%), в остальных вариантах

Рис. 2. Степень разложения растительных остатков пшеницы и рапса (в среднем за три закладки опыта)
Fig. 2. Degree of decomposition of wheat and rape residues (on average in three times the experiment was laid)

опыта растительные остатки разлагались примерно с одинаковой скоростью – 9–11%. В последние 20 сут опыта скорости разложения биомассы пшеницы и рапса практически не различались.

По мнению В.М. Семёнова, А.К. Ходжаевой [2], 75–85% внесенного с растительным материалом углерода после 1–3 мес минерализуется до $C-CO_2$, а остающийся в почве углерод растений оказывается относительно устойчивым к разложению. В настоящих опытах степень деструкции послеуборочных остатков пшеницы и рапса за двухмесячный период была несколько меньше.

На разложение растительного материала в отдельные периоды опыта влияет не только содержащийся в нем азот, но и вносимый с удобрением. Растительные остатки также оказывают непосредственное влияние на трансформацию азота почвы. В начале разложения бедного азотом растительного материала преобладает иммобилизация азотистых соединений до тех пор, пока отношение $C : N$ в нем не уменьшится до 20 : 1–22 : 1 [2, 14, 15]. Если отношение $C : N$ в органическом веществе ниже, чем у микроорганизмов, осуществляющих его гидролиз, в почве наблюдается минерализация азота с накоплением минеральных форм элемента [2].

В почве, используемой для закладки лабораторного опыта, было определено ис-

ходное содержание нитратного азота, которое составило в первую закладку 20 мг/кг почвы, во вторую и третью – около 10 мг/кг почвы. В опытах (вторая и третья закладки) также проводились наблюдения за динамикой нитратного азота в почве за три периода 0–20, 0–40 и 0–60 сут. В среднем за две закладки исходное содержание $N-NO_3$ в почве составило 10,5 мг/кг, при дальнейшем ее инкубировании количество нитратного азота за 20 сут увеличилось в 3 раза, 40 сут – в 5 раз, 60 сут – в 7 раз (рис. 3).

Инициирование роста гетеротрофных микроорганизмов растительными остатками сопровождается изменением минерализационно-иммобилизационной оборачиваемости азота в почве [2]. Активная иммобилизация азота при разложении растительных остатков может быть причиной его дефицита в почве. Добавление к почве растительных остатков пшеницы и рапса приводило к иммобилизации азота за первые 20 сут эксперимента. Значительная часть азота, содержащегося в почве, пожнивных остатках и внесенном удобрении, поглощалась почвенными микроорганизмами.

После 20 сут опыта наименьшее содержание нитратного азота (5 мг/кг) отмечено при внесении в почву соломы пшеницы, добавление к ней минерального азота увеличило содержание нитратов до 9 мг/кг почвы. Внесение пожнивных остатков рапса имело

Рис. 3. Динамика содержания нитратного азота при инкубировании почвы с растительными остатками в различных вариантах (в среднем за две закладки опыта)

Fig. 3. Dynamics of nitrate nitrogen content while incubating soil with plant residues in different treatments (on average in two times the experiment was laid)

небольшое преимущество перед соломой пшеницы: на варианте без удобрения количество нитратного азота составляло 7 мг/кг почвы, с дополнительным внесением удобрения – 13 мг/кг почвы.

За последующие 40 и 60 сут эксперимента отмечалось высвобождение азота на вариантах с внесением растительных остатков пшеницы и рапса. К концу опыта содержание нитратов в почве на вариантах с растительными остатками стало практически таким же, как в варианте с одной почвой. По результатам исследований Д.-Ф. Дежоюкс., С. Рекоус, Д.-М. Мейнард, А. Трансаутрот, Л. Литерме, иммобилизация азота совпадала с быстрой стадией разложения растительных остатков, во вторую, медленную фазу, наоборот, происходила минерализация азота [16]. Это полностью согласуется с полученными результатами, если сопоставить данные по количеству выделенного CO_2 почвой, степенью разложения растительных остатков и содержанию нитратного азота в почве.

ВЫВОДЫ

1. При разложении растительных остатков в почве в течение двух месяцев в оптимальных гидротермических условиях более 50% выделившегося углерода приходилось на первые 20 сут эксперимента, затем процесс минерализации резко замедлился. Разница в выделении CO_2 в целом за 60 сут эксперимента между растительными остатками пшеницы и рапса не установлена. Однако за первые 20 сут эксперимента растительные остатки рапса разлагались более интенсивно.

2. Добавка в почву минерального азота в количестве 50 мг/кг не оказала существенного влияния на минерализацию ни соломы, ни биомассы рапса в целом за период опыта. Однако за первые 20 сут в варианте с соломой минеральный азот стимулировал процесс минерализации примерно на 11%. добавка азота к соломе пшеницы повышала эмиссию углерода.

3. В сравнении с исходным содержанием в почве N-NO_3 инкубирование почвы без

добавок увеличило количество нитратного азота за 20 сут в 3 раза, за 40 – в 5 раз, за 60 – в 7 раз. Добавка к почве растительных остатков пшеницы и рапса стимулировала иммобилизацию азота. Содержание нитратного азота в почве с растительными остатками достигло уровня контрольного варианта только через 2 мес инкубирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Серая Т.М., Богатырёва Е.Н., Бирюкова О.М., Мезенцева Е.Г.** Высвобождение элементов питания при заделке соломы в дерново-подзолистые почвы в зависимости от ее видового состава и удобрения азотом // *Агрохимия*. – 2013. – № 3. – С. 52–59.
2. **Семёнов В.М., Ходжаева А.К.** Агроэкологические функции растительных остатков в почве // *Агрохимия*. – 2006. – № 7. – С. 63–81.
3. **Ходжаева А.К., Семёнов В.М., Дулов Л.Е., Семёнова Н.А., Кузнецова Т.В., Семёнов А.М., Бруггенван А.Х.К.** Диагностика биологических свойств почвы при органической и традиционной системе земледелия // *Агрохимия*. – 2010. – № 5. – С. 3–12.
4. **Lal R.** Soil carbon sequestration to mitigate climate change // *Geoderma*. – 2004. – Vol. 123, N 1–2. – P. 1–22.
5. **Шарков И.Н.** Абсорбционный метод определения эмиссии CO_2 из почв // *Методы исследований органического вещества почв*. – М.: Россельхозакадемия: ГНУ ВНИПТИОУ, 2005. – С. 401–407.
6. **Власенко А.Н., Наздрачёв Я.П., Шарков И.Н.** Отзывчивость ярового рапса на удобрения в Северном Казахстане // *Земледелие*. – 2014. – № 7. – С. 20–22.
7. **Нормативные** показатели выноса и коэффициенты использования питательных веществ с.-х. культурами из минеральных удобрений и почвы. – М.: ЦИНАО, 1986. – 113 с.
8. **Praveen-Kumar Jagadish, C. Tarafdar, Jitendra Panvar, Shyam Kathju.** A rapid method for assessment of plant residue quality // *J. Plant Nutrition and Soil Sci.* – 2003. – Vol. 166, N 5. – P. 662–666.
9. **Назарюк В.М.** Баланс и трансформация азота в агроэкосистемах. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 257 с.

10. **Hadas A., Kautsky L., Goek M., Kara E.E.** Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover // *Soil Biol. Biochem.* – 2004. – Vol. 36, N 2. – P. 349–362.
11. **Jenkinson D.S.** Studies on decomposition of plant material in soil. V. The effects of plant cover and soil type on the loss of carbon from ¹⁴C-labelled rye grass decomposing under field conditions // *J. Soil Sci.* – 1977. – Vol. 28, N 3. – P. 424–434.
12. **Thuries L., Pansu M., Feller C., Herrman P., Remy J.-C.** Kinetics of added organic matter decomposition in a Mediterranean sandy soil // *Soil Biol. Biochem.* – 2001. – Vol. 33, N 7–8. – P. 997–1010.
13. **Trinsoutrot I., Recous S., Mary B., Nikolardot B.** C and N fluxes of decomposing ¹³C and ¹⁵N Brassica napus L.: effects of residue composition and N content // *Soil Biol. Biochem.* – 2000. – Vol. 32, N 11–12. – P. 1717–1730.
14. **Bartholomew W.V., Clark F.E.** Mineralization and immobilization of plant and animal residues. In *Soil Nitrogen* // American Society of Agronomy. – 1965. – P. 287–306.
15. **Коулман Д.К., Коул К.В., Эллиот Э.Т.** Распад и круговорот органического вещества и динамика питательных веществ в агроэкосистемах // *Сельскохозяйственные экосистемы.* – М.: Колос, 1987. – С. 85–103.
16. **Dejoux J.-F., Recous S., Meynard J.-M., Trinsoutrot I., Leterme L.** The fate of nitrogen from winter-frozen rapeseed leaves: mineralization, fluxes to the environment and uptake by rapeseed crop in spring // *Plant and Soil.* – 2000. – Vol. 218, N 1–2. – P. 257–272.
- Semenov A.M., Bruggen van A.Kh.K.** Diagnostika biologicheskikh svoystv pochvy pri organicheskoi i traditsionnoi sisteme zemledeliya // *Agrokimiya.* – 2010. – № 5. – S. 3–12.
4. **Lal R.** Soil carbon sequestration to mitigate climate change // *Geoderma.* – 2004. – Vol. 123, N 1–2. – P. 1–22.
5. **Sharkov I.N.** Absorbtsionnyi metod opredeleniya emissii SO₂ iz pochv. // *Metody issledovaniy organicheskogo veshchestva pochv.* – M.: Rossel'khozakademiya: GNU VNIPTIOU, 2005. – S. 401–407.
6. **Vlasenko A.N., Nazdrachev Ya.P., Sharkov I.N.** Otyzvchivost' yarovogo rapsa na udobreniya v Severnom Kazakhstane // *Zemledelie.* – 2014. – № 7. – S. 20–22.
7. **Normativnye pokazateli vynosa i koeffitsienty ispol'zovaniya pitatel'nykh veshchestv s.-kh. kul'turami iz mineral'nykh udobrenii i pochvy.** – M.: TsINA O, 1986. – 113 s.
8. **Praveen-Kumar Jagadish, C. Tarafdar, Jitendra Panvar, Shyam Kathju.** A rapid method for assessment of plant residue quality // *J. Plant Nutrition and Soil Sci.* – 2003. – Vol. 166, N 5. – P. 662–666.
9. **Nazaryuk V.M.** Balans i transformatsiya azota v agroekosistemakh – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2002. – 257 s.
10. **Hadas A., Kautsky L., Goek M., Kara E.E.** Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover // *Soil Biol. Biochem.* – 2004. – Vol. 36, N 2. – P. 349–362.
11. **Jenkinson D.S.** Studies on decomposition of plant material in soil. V. The effects of plant cover and soil type on the loss of carbon from ¹⁴C-labelled rye grass decomposing under field conditions // *J. Soil Sci.* – 1977. – Vol. 28, N 3. – P. 424–434.
12. **Thuries L., Pansu M., Feller C., Herrman P., Remy J.-C.** Kinetics of added organic matter decomposition in a Mediterranean sandy soil // *Soil Biol. Biochem.* – 2001. – Vol. 33, N 7–8. – P. 997–1010.
13. **Trinsoutrot I., Recous S., Mary B., Nikolardot B.** C and N fluxes of decomposing ¹³C and ¹⁵N Brassica napus L.: effects of residue composition and N content // *Soil Biol. Biochem.* – 2000. – Vol. 32, N 11–12. – P. 1717–1730.
14. **Bartholomew W.V., Clark F.E.** Mineralization and immobilization of plant and animal residues. In *Soil Nitrogen* // American Society of Agronomy. – 1965. – P. 287–306.

REFERENCES

1. **Seraya T.M., Bogatyreva E.N., Biryukova O.M., Mezentseva E.G.** Vysvobozhdenie elementov pitaniya pri zadelke solomy v dernovo-podzolistye pochvy v zavisimosti ot ee vidovogo sostava i udobreniya azotom // *Agrokimiya.* – 2013. – № 3. – S. 52–59.
2. **Semenov V.M., Khodzhaeva A.K.** Agroekologicheskie funktsii rastitel'nykh ostatkov v pochve // *Agrokimiya.* – 2006. – № 7. – S. 63–81.
3. **Khodzhaeva A.K., Semenov V.M., Duloval L.E., Semenova N.A., Kuznetsova T.V.,**

15. **Koulman D.K., Koul K.V., Elliot E.T.** Raspad i krugovorot organicheskogo veshchestva i dinamika pitatel'nykh veshchestv v agroekosistemakh // Sel'skokhozyaistvennye ekosistemy. – M.: Kolos, 1987. – S. 85–103.
16. **Dejoux J.-F., Recous S., Meynard J.-M., Transoutrot I., Leterme L.** The fate of nitrogen from winter-frozen rapeseed leaves: mineralization, fluxes to the environment and uptake by rapeseed crop in spring // Plant and Soil. – 2000. – Vol. 218, N 1–2. – P. 257–272.

FEATURES OF WHEAT AND RAPE RESIDUE MINERALIZATION IN SOIL AFTER HARVESTING

**YA.P. NAZDRACHEV, Senior Researcher,
V.M. FILONOV, Candidate of Science in Agriculture, Laboratory Head,
E.V. MAMYKIN, Junior Researcher**

*A.I. Barayev Research and Production Centre of Grain Farming
15, Barayeva St, Nauchny, Shortandy District, Akmolinsk Region, 021601, Kazakhstan
e-mail: yakov.n.81@mail.ru*

We studied wheat and rape residue mineralization and its impact on nitrogen content in soil to adjust fertilizer application in crop rotation. Comparative evaluation was carried out by measuring carbon dioxide (CO₂) emissions from soil by the absorption method under laboratory conditions. The soil was southern chernozem of heavy loamy granulometric composition. A laboratory experiment was laid three times in seven replications during two months. Results indicated that more than 50% of carbon dioxide was released from plant residues when decomposed for the first 20 days of the experiment. The CO₂ production in wheat and rape residue treatments was observed to be three times more intensive than that in the treatment without plant residues. No difference was found in CO₂ emission between wheat straw and rape treatments for 60 days of the experiment. Rape residues were observed to decompose more intensively for the first 20 days of the experiment in comparison with wheat straw. Addition of mineral nitrogen in a dose of 50 mg/kg to soil increased wheat straw mineralization by 11 percent during the first 20 days, and contributed to intensifying CO₂ emission. Incubating soil without residues increased the nitrate-N content 3 times for 20 days of the experiment, 5 times for 40 days, and 7 times for 60 days as compared to the initial amount. Incorporation of wheat and rape residues to soil resulted in nitrogen immobilization. The nitrate-N content in the soil with wheat and rape residues reached a level of the treatment without plant residues after 2 months' incubation.

Keywords: soil, plant residues, wheat, rape, CO₂ emission, nitrogen immobilization and mineralization.

Поступила в редакцию 18.12.2017