

УДК 631.811.1.031:633.15

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КУКУРУЗЫ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА ИЗ РАЗНЫХ ГОРИЗОНТОВ ДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

ИЛЬЮК Е.Н.

(Кафедра агрохимии)

В опытах с кукурузой определяли коэффициенты использования меченого ^{15}N минерального азота из слоев дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы 0—20 см, 20—40, 40—60 и 60—80 см. Внесение небольшого количества высокообогащенных $^{15}\text{N}\text{—NH}_4^+$ и $^{15}\text{N}\text{—NO}_3^-$ позволило установить размер потребления минерального азота и оценить степень его использования растениями кукурузы из разных почвенных горизонтов.

Оптимизация минерального питания сельскохозяйственных культур является важнейшим фактором, определяющим урожайность и качество продукции. При этом существенное влияние на рост и развитие растений оказывает содержание минерального азота в почве в начале вегетационного периода.

Известно, что почвенная диагностика является достаточно надежным методом определения потребности сельскохозяйственных культур в азотном питании и удобрении. Однако большая трудоемкость процесса отбора образцов почвы для анализа, особенно в подпахотных горизонтах, а также слабая изученность вопроса о размерах использования растениями минерального азота из разных слоев почвы существенно ограничивают широкое применение этого метода [2].

На распределение минерального азота по профилю почвы большое влияние оказывают метеорологические и агротехнические факторы: количество осадков и их распределение в течение вегетационного периода и года в целом, применение органических и минеральных удобрений, способы и сроки обработки почвы, биологические особенности культуры-предшественника и его удобренность и пр [7]. Характер превращений минерального азота в пахотных, подпахотных и нижележащих горизонтах следует учитывать при корректировке доз удобрений и разработке мероприятий по охране окружающей среды [5].

Определение степени использования растениями минерального азота с различной глубины почвенного профиля дерново-подзолистой почвы, проведенные с помощью изотопа ^{15}N , показали,

что оно различается по слоям почвы [2—4, 7, 13, 14]. Установлена существенная зависимость коэффициентов использования минерального азота от глубины его расположения в корнеобитаемом слое [2—5].

Многие авторы [1, 8, 9] считают, что отбор образцов при почвенной диагностике следует проводить до глубины 90—100 см. В то же время другие исследователи [2, 10] показали возможность ограничиться взятием проб на глубину до 40—60 см. Наибольшая степень участия минерального азота в формировании урожая сельскохозяйственных культур в дерново-подзолистой зоне выпадает на азот, находящийся на глубине до 60 см [10].

Весьма актуальным остается вопрос о миграции азота в пределах почвенного профиля. По некоторым данным [2, 6, 11, 12], основное количество меченного ^{15}N азота остается в верхней части почвенного профиля. В среднем 30% (26—34%) внесенного азота закрепляется в слое почвы 0—40 см и не используется в первый год.

Особенно важным в почвенной диагностике остается вопрос о доступности растениям аммонийного и нитратного азота из разных слоев почвы. Несмотря на проведенные исследования [2, 4, 5, 8, 9], вопрос о преимущественном использовании растениями разных форм азота до настоящего времени остается недостаточно изученным, при этом полученные экспериментальные данные весьма противоречивы, что не позволяет более точно определить роль аммонийного и нитратного азо-

та в питании растений на отдельных этапах их развития.

Задачей данной работы являлось изучение с помощью стабильного изотопа ^{15}N размеров и динамики потребления, структуры баланса и степени использования растениями кукурузы аммонийного и нитратного азота по горизонтам дерново-подзолистой почвы.

Методика

Лизиметрические исследования проводили в 1994—1996 гг. на кафедре агрономической и биологической химии Тимирязевской академии. Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая слабокультуренная взята на экспериментальной базе учхоза «Михайловское» Московской области. Она характеризовалась следующими показателями: $\text{pH}_{\text{сол}}$ — 4,5, N_r — 5,2 мг · экв/100 г, содержание гумуса — 1,3%, общего азота — 0,07%, подвижного фосфора и обменного калия по Кирсанову — соответственно 42 и 52 мг/кг.

В качестве лизиметров использовали цилиндрические сосуды площадью 0,2 м и высотой 1 м. Их набивали почвой с сохранением естественной последовательности генетических горизонтов. Глубина пахотного горизонта составляла 20 см, подпахотного переходного — 15—17, иллювиального — 46—48 см. В сосуды высевали кукурузу гибрид Коллективный — по 6 растений на лизиметр.

Перед закладкой опыта почва в лизиметрах была произвесткована карбонатом кальция полной дозой по гидролитической кис-

лотности. В качестве фосфорных и калийных удобрений ежегодно использовали смесь одно- и двухзамещенного фосфата калия из расчета по 120 кг P_2O_5 и K_2O на 1 га. Подкормку кукурузы азотом проводили в фазу 7—8 листьев немеченой аммиачной селитрой из расчета 80 кг/га.

Увлажнение в двух лизиметрических блоках было естественным. Каждый из блоков состоял из 18 лизиметров, включая 6 вариантов в 3-кратной повторности.

Азот, содержащийся перед посевом кукурузы в различных почвенных горизонтах, метили небольшим количеством стабильного изотопа ^{15}N путем внесения пипеткой на глубину 10, 30, 50, 70 см (в середину каждого из слоев 0—20, 20—40, 40—60, 60—80 см) по 1 мл раствора сульфата аммония ($^{15}NH_4$) $_2$ SO $_4$ и натриевой селитры Na $^{15}NO_3$ с высоким обогащением ^{15}N (93—95 ат.%) из расчета 5—10 кг N/га ($^{15}N - NH_4^+$ и $^{15}N - NO_3^-$), что составляло от 7 до 20% содержания почвенного минерального азота в каждом слое или примерно 3—8% содержания его в корнеобитаемом слое.

В опыте было 6 вариантов: 1 — 120P120K (контроль); 2 — внесение небольших доз меченных ^{15}N растворов сульфата аммония или нитрата натрия в слой 0—20 см с их перемешиванием; 3 — локальное внесение этих растворов в тот же слой почвы; 4 — то же в слой 20—40 см; 5 — то же в слой 40—60; 6 — то же в слое 60—80 см. В дальнейшем в таблице для краткости условно — контроль, 0—20 см с перемешиванием, 0—20 см локально; 20—40 см; 40—60 см и 60—80 см.

В течение вегетационного периода проводили 2 прореживания, в результате чего к моменту уборки кукурузы на зеленую массу (в фазу начала молочной спелости) в каждом лизиметре оставалось 4 растения.

После уборки ежегодно проводили отбор почвенных образцов из горизонтов, в которые вносили меченные ^{15}N сульфат аммония и натриевую селитру. Растительные образцы, взятые после уборки, как и растения, удаленные при прореживании, измельчали, высушивали и взвешивали. В лабораторных условиях определяли содержание общего азота в растениях и в почве методом мокрого озоления по Кьельдалю, нитратного азота в почве — в щелочной среде по Деварду. Анализ изотопного состава в растительных и почвенных образцах проводили на масс-спектрометре МИ-1201В.

Результаты

Внесение в разные слои почвенного профиля небольших доз меченных ^{15}N сульфата аммония и нитрата натрия (из расчета 5—10 кг/га) на фоне 80N120P120K не оказало достоверного влияния на урожайность кукурузы. Средний по 3 вариантам (различающимся по глубине заделки сульфата аммония и нитрата натрия) урожай зеленой массы кукурузы колебался по годам в пределах 947—1141 мг/лизиметр (или 473—570 ц/га, НСР $_{05}$ 108 ц/га) при внесении $^{15}N - NH_4^+$ и в пределах 969—1069 г/лизиметр (или 485—535 ц/га, НСР $_{05}$ 86 ц/га) при внесении $^{15}N - NO_3^-$ (табл. 1).

Средний урожай зеленой массы кукурузы за 3 года по вариантам

опыта составил 1024 г/лизиметр, или в пересчете на сухую массу 175 г/лизиметр. В наибольшей мере минеральный азот использовался растениями из слоя 20—

40 см, о чем свидетельствует самый высокий урожай зеленой массы в этом варианте: 1141 г/лизиметр (570 ц/га) при внесении меченого ^{15}N сульфата аммония и

Таблица 1

Урожай кукурузы при внесении в разные слои почвы меченных ^{15}N сульфата аммония (числитель) и нитрата натрия (знаменатель) в лизиметрическом опыте (средний за 3 года)

Вариант опыта	Зеленая масса		Сухая масса, г/лизиметр
	г/лизиметр	ц/га	
Контроль	<u>781</u>	<u>391</u>	<u>141</u>
	775	387	133
0—20 см с перемишаньем	<u>1038</u>	<u>519</u>	<u>186</u>
	1035	518	176
0—20 см локально	<u>1054</u>	<u>528</u>	<u>187</u>
	1020	510	176
20—40 см	<u>1141</u>	<u>570</u>	<u>198</u>
	1069	535	180
40—60 см	<u>959</u>	<u>479</u>	<u>161</u>
	1006	503	164
60—80 см	<u>947</u>	<u>473</u>	<u>158</u>
	969	485	161
НСР ₀₅	—	<u>108</u>	—

1069 г/лизиметр (535 ц/га) с меткой ^{15}N натриевой селитры. В вариантах с внесением меченого азота на глубину 70 см (в слой 60—80 см) наблюдалось снижение урожая до 947—969 г/лизиметр (473—485 ц/га).

Следствием применения немеченой аммиачной селитры (80N) явился не только повышение урожайности в вариантах 2—6, но и увеличение выноса общего азота кукурузой. Среднегодовой общий вынос азота составил 137 кг/га в вариантах 20—40 см при внесении $^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$ и 117 кг/га при $^{15}\text{N}-\text{NO}_3^-$ (табл. 2). Снижение общего выноса

азота растениями до 87 кг/га наблюдалось в вариантах 60—80 см при обеих формах меченого азота.

Проведенные нами лизиметрические исследования на дерново-подзолистой среднесуглинистой слабокультуренной почве подтвердили факт неодинакового использования растениями азота, находящегося на различной глубине (табл. 3). Наибольшим поступление в растения меченого минерального азота было из слоя 20—40 см: 100 и 53 мг/лизиметр соответственно для аммонийной и нитратной форм. Поступление меченого азота в растения из слоя

Таблица 2

Вынос общего азота кукурузой при внесении в разные слои почвы меченных ^{15}N сульфата аммония (числитель) и нитрата натрия (знаменатель) в лизиметрическом опыте (средний за 3 года)

Вариант опыта	Содержание $\text{N}_{\text{обм}}$ в сухой массе растений, %	Вынос $\text{N}_{\text{обм}}$	
		г/лизиметр	кг/га
0—20 см с переме- шиванием	<u>1,3</u>	<u>2,41</u>	<u>118</u>
	1,2	2,19	107
0—20 см локально	<u>1,3</u>	<u>2,41</u>	<u>120</u>
	1,2	2,10	108
20—40 см	<u>1,4</u>	<u>2,70</u>	<u>137</u>
	1,3	2,30	117
40—60 см	<u>1,2</u>	<u>1,82</u>	<u>93</u>
	1,2	1,78	93
60—80 см	<u>1,1</u>	<u>1,71</u>	<u>87</u>
	1,1	1,83	88

60—80 см снижалось в 5—6 раз. С учетом количества внесенных меченных ^{15}N сульфата аммония и натриевой селитры (соответственно 200 и 113 мг/лизиметр) были рассчитаны коэффициенты использования минерального азота растениями, которые показывают (табл. 4), что кукуруза наиболее полно использует содержащийся перед посевом минеральный азот почвы из подпахотного слоя 20—40 см — 48—53 и 44—49% соответственно в аммонийной и нитратной формах. Коэффициенты использования этих форм азота из пахотного слоя ниже на 10—12%, из более глубоких слоев почвы (40—60 и 60—80 см) — в 2—5 раз. Наиболее полное использование почвенного азота кукурузой из слоя 0—40 см объясняется прежде всего тем, что здесь сосредоточена основная масса корней.

Аммонийный и нитратный азот неодинаково использовался рас-

тениями. Для слоя 0—20 см коэффициенты использования нитратного азота были на 5—7% выше, чем аммонийного, что согласуется с данными предыдущих исследований [3, 4, 12]. Для слоя 20—40 см они оказались в среднем на 4—6% ниже коэффициентов использования аммонийного азота, для слоев 40—60 и 60—80 см разница в значениях этих коэффициентов не превышала 3%. Лучшее использование нитратной формы азота можно объяснить большим закреплением аммония в органической форме и фиксацией его глинистыми минералами.

Таким образом, полученные с помощью стабильного изотопа ^{15}N данные, свидетельствуют о преимущественном поступлении в растения почвенного минерального азота из пахотного и подпахотного слоев.

Изучение азотного баланса почв и азотного питания расте-

Таблица 3

Содержание (мг/лизиметр) в растениях кукурузы меченого ^{15}N сульфата аммония (числитель) и натриевой селитры (знаменатель) в лизиметрическом опыте

Вариант опыта	1994 г.	1995 г.	1996 г.	Среднее за 3 года
0—20 см с перемешиванием	<u>59</u>	<u>70</u>	<u>73</u>	<u>67</u>
	43	47	48	46
0—20 см локально	<u>74</u>	<u>82</u>	<u>76</u>	<u>77</u>
	46	50	49	48
20—40 см	<u>96</u>	<u>106</u>	<u>97</u>	<u>100</u>
	50	54	55	53
40—60 см	<u>40</u>	<u>50</u>	<u>49</u>	<u>46</u>
	27	31	30	29
60—80 см	<u>20</u>	<u>24</u>	<u>23</u>	<u>22</u>
	9	10	8	9

Таблица 4

Структура баланса (% к внесенному) меченого ^{15}N аммонийного (числитель) и нитратного (знаменатель) азота в лизиметрическом опыте

Вариант опыта	Коэффициент использования азота растениями			Закрепилось в почве			Дефицит азота		
	1994	1995	1996	1994	1995	1996	1994	1995	1996
0—20 см с перемешиванием	<u>32</u>	<u>35</u>	<u>37</u>	<u>40</u>	<u>42</u>	<u>40</u>	<u>28</u>	<u>23</u>	<u>23</u>
	38	41	42	32	34	32	30	25	26
0—20 см локально	<u>37</u>	<u>41</u>	<u>38</u>	<u>43</u>	<u>45</u>	<u>46</u>	<u>20</u>	<u>14</u>	<u>16</u>
	41	44	43	27	28	30	32	28	27
20—40 см	<u>48</u>	<u>53</u>	<u>49</u>	<u>29</u>	<u>32</u>	<u>34</u>	<u>23</u>	<u>15</u>	<u>17</u>
	44	48	49	19	16	19	37	36	32
40—60 см	<u>20</u>	<u>25</u>	<u>24</u>	<u>17</u>	<u>19</u>	<u>23</u>	<u>63</u>	<u>56</u>	<u>53</u>
	24	27	26	13	12	15	63	61	59
60—80 см	<u>10</u>	<u>12</u>	<u>11</u>	<u>14</u>	<u>16</u>	<u>15</u>	<u>76</u>	<u>72</u>	<u>74</u>
	8	9	7	11	9	10	81	82	83

ний — одна из центральных проблем почвоведения и агрохимии. От ее правильного решения зависят урожайность сельскохозяйственных культур и сохранение почвенного плодородия при многолетней эксплуатации земель.

Отсутствие четких данных о превращениях аммонийного и

нитратного азота на различной глубине почвенного профиля, а также о степени доступности растениям минерального азота из разных слоев почвы ограничивает возможности почвенной диагностики обеспеченности сельскохозяйственных культур азотом.

Полученные нами данные позволяют более полно охарактеризовать пути трансформации аммонийного и нитратного азота, находящегося на различной глубине почвенного профиля. Результаты исследований показали, что наибольшее закрепление аммонийного и нитратного азота происходило в слоях 0—20 и 20—40 см: соответственно 29—46% для аммонийной формы и 16—34% — для нитратной. В слоях 40—60 и 60—80 см закрепление азота снижалось на 18—24% (табл. 4 и 5). Нитратный азот закреплялся в среднем на 8—10% меньше, чем аммонийный, во всех вариантах опытов. Такая зависимость может быть связана с тем, что аммонийная форма азота луч-

ше потребляется микроорганизмами, поскольку использование аммония на синтез аминокислот не связано с затратами энергии на восстановление.

Дефицит азота в слоях 0—20 и 20—40 см составил 24—37% для нитратной формы и 14—28% — для аммонийной (табл. 4). Потери азота из нижних слоев возрастали соответственно до 72—76 и 81—83% и происходили за счет вымывания.

Выводы

1. В лизиметрических опытах при внесении меченых ^{15}N сульфата аммония и натриевой селитры в разные слои дерново-подзолистой почвы наибольшие значения коэффициентов использования минерального азота растени-

Т а б л и ц а 5

Содержание (мг/лизиметр) в почве меченого ^{15}N сульфата аммония (числитель) и натриевой селитры (знаменатель) в лизиметрическом опыте

Вариант опыта	1994 г.	1995 г.	1996 г.	Среднее за 3 года
0—20 см с перемешиванием	<u>79</u>	<u>84</u>	<u>80</u>	<u>81</u>
	37	38	36	37
0—20 см локально	<u>86</u>	<u>90</u>	<u>91</u>	<u>89</u>
	31	32	34	32
20—40 см	<u>58</u>	<u>64</u>	<u>67</u>	<u>63</u>
	21	18	21	20
40—60 см	<u>34</u>	<u>38</u>	<u>46</u>	<u>39</u>
	15	13	17	15
60—80 см	<u>28</u>	<u>32</u>	<u>29</u>	<u>30</u>
	12	10	12	11

ями кукурузы отмечены для слоя 20—40 см: соответственно 53 и 49% для аммонийной и нитратной форм азота, наименьшие — для слоя 60—80 см: 10 и 7%.

2. Основное количество закрепившегося азота меченых сульфа-

та аммония и натриевой селитры было при их внесении в слой 20—40 см локально: соответственно 29—34 и 16—19%. Закрепление минерального азота из слоя 60—80 см оказалось наименьшим: 9—11 и 14—16%.

3. Дефицит азота в слое 60—80 см составил 72—76% для аммонийной формы азота и 81—83% для нитратной и был значительно больше, чем в других вариантах. Дефицит нитратного азота был на 6—10% выше, чем аммонийного.

4. Установленные закономерности использования растениями минерального азота из разных слоев почвы свидетельствуют о необходимости дифференцированного учета его содержания и доступности при почвенной диагностике азотного питания растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акулов П.Г., Доманов Н.М., Афанасьев Р.М. Оптимизация азотного питания озимой пшеницы. — Химиз. сельск. хоз-ва, 1989, № 4, с. 41. — 2. Кидин В.В., Замираев А.Г. Использование ячменем минерального азота из различных слоев дерново-подзолистой почвы. — Изв. ТСХА, 1989, вып. 5, с. 78—82. — 3. Кидин В.В., Ионова О.Н. Использование растениями аммонийного и нитратного азота из разных слоев почвы. — Изв. ТСХА, 1992, вып. 5, с. 50—67. — 4. Кидин В.В., Ионова О.Н. Динамика потребления аммонийного и нитратного азота растениями из разных горизонтов почвы. — Агрохимия, 1992, № 11, с. 3—15. — 5. Кидин В.В. Трансформация, состав потерь и баланс азота удобрений в системе «почва — растение». — Автореф. докт. дис. 06.01.04. М., 1993. — 6. Кирюшин В.И., Лебедева И.Н. Изменение содержания гумуса и азота в почвах черноземной зоны

в результате сельскохозяйственного использования. — В сб.: Особенности формирования и использования почв Сибири и Дальнего Востока. Новосибирск, 1982, с. 180—191. — 7. Кореньков Д.А., Руделев Е.В., Кузнецов А.В. Использование растениями минерального азота с различных глубин почвенного профиля. — Почвоведение, 1987, № 5, с. 48—52. — 8. Корчагина Ю.И., Шафран С.А. Азотный режим почв Нечерноземья. — Химиз. сельск. хоз-ва, 1988, № 4, с. 28—30. — 9. Пискунов А.С., Кожухова М.М. К вопросу о потребности в азоте зерновых культур. — В сб.: Повышение эффективности химизации в интенсивном земледелии. — Пермь, 1988, с. 6—8. — 10. Руделев Е.В. Минерализация — иммобилизация азота в основных типах почв России и эффективность азотных удобрений. — Автореф. докт. дис. 06.01.04. М., 1992. — 11. Титлянова А.А., Кирюшин В.И., Охинько И.П. и др. Круговорот углерода и азота в агроценозах на южных черноземах Казахстана. — Изв. СО АН СССР, 1979, № 12. Сер. биол. наук, вып. 3, с. 23—29. — 12. Цыбулька Н.Н. Азотное питание озимой ржи и баланс азота удобрений в системе «почва — растение» в зависимости от доз, сроков и способов применения азотных удобрений. — Агрохимия, 1996, № 5, с. 8—16. — 13. Dressel J., Jung J. — Landwirtschaftliche Forschung., 1981, Sonderheft, 36, N 5—6, S. 504—515. — 14. Mueller S., Moritz D. — Arch. ...Acker-Pflanzenbau und Bodenk., 1982, Bd 26, N 5, S. 315-322.

Статья поступила 29 ноября
1997 г.