

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ $N_{\text{мин}}$ НА ДИНАМИКУ НАКОПЛЕНИЯ СУХОГО ВЕЩЕСТВА, А ТАКЖЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЗОТА В ЮВЕНАЛЬНОЙ ФАЗЕ КУКУРУЗЫ

Vliyanie sodержaniya N_{min} na dinamiku nakopleniya sukhogo veshchestva, a takzhe pokazateli effektivnosti ispol'zovaniya azota v yuvenal'noj faze kukuruzy

Содержание

В процессе полевых исследований изучалось влияние разных азотных удобрений, дозы азота и содержание минерального азота в почве перед посевом кукурузы на динамику первоначального роста, содержание, аккумуляцию азота, а также показатели эффективности его использования. Было показано, что в ювенильной фазе кукурузы, из всех исследованных азотных удобрений, худшим оказалась кальциевая селитра, о чем свидетельствует значение изучаемых свойств. Минеральный азот ($N_{\text{мин}}$), содержащийся в почве зоны укоренения кукурузы (0-0,6 м), по существу, формирует аккумуляцию этого компонента через кукурузу. Минеральный азот ($N_{\text{мин}}$) значительно улучшает значение показателей эффективности использования азота. Земледелие и физиологическая эффективность, а также использование азота увеличиваются прямо пропорционально количеству в почве $N_{\text{мин}}$, который включен в алгоритм расчета дозы азотных удобрений для выращивания кукурузы.

Ключевые слова: кукуруза, ювенильная фаза, динамика накопления сухого вещества, эффективность земледелия, физиологическая эффективность, использование азота, азот, $N_{\text{мин}}$

AN INFLUENCE OF A N_{MIN} CONTENT ON THE DYNAMICS OF DRY MASS STORAGE AND FACTORS OF NITROGEN USE EFFECTIVENESS IN JUVENILE MAIZE PHASE

Summary

Field studies were carried out to test the impact of nitrogen fertilizers, nitrogen dose and mineral nitrogen content in soil before maize sowing on the initial growth of maize, nitrogen content, nitrogen assimilation and on the efficiency of the ingredient in maize grown in juvenile phase. There was presented that in the juvenile maize (BBCH 15/16) phase, the calcium nitrate was the worst among the tested nitrogen fertilizers, as evidenced by the values of the tested features. Mineral nitrogen (N_{min}) contained in the soil in the root zone of maize (0-0,6 m) significantly increases the accumulation of the component by maize. Mineral nitrogen (N_{min}) significantly improves the value of nitrogen efficiency indicators. The agricultural and physiological efficiency as well as nitrogen utilization are directly proportional to the amount of soil N_{min} included in the algorithm for calculating the nitrogen fertilizer for maize cultivation.

Key words: maize, juvenile phase, dry matter accumulation dynamics, nitrogen, N_{min}

1. Введение

Азот является одним из основных питательных веществ, имеющих решающее значение в интенсификации растениеводства [1, 2]. Правильное и рациональное удобрение почвы данным элементом не только способствует увеличению урожайности растений, но и повышает биологическую и технологическую ценность урожая, химическое плодородие почвы и не оказывает негативного воздействия на окружающую среду [3]. Следовательно, обеспечение оптимального уровня факторов роста растений, в том числе наличия питательных веществ, гарантирует высокую урожайность [4, 5].

Цель работы: в связи с вышеизложенным были проведены полевые исследования, целью которых было определить влияние вида азотного удобрения, размера дозы азота и содержания $N_{\text{мин}}$ в трех почвенных профилях на динамику начального роста, выраженную сухой массой урожая, а также показатели эффективности использования в фазе 5-6 листа.

2. Материал и методика исследований

Полевые опыты проводились на Кафедре агрономии Университета естественных наук в Познани, на полях Опытного-учебного предприятия в Свэдзиме в 2012-2014 годах. В процессе опыта изучалось влияние четырех азотных удобрений (аммиачная селитра, мочевина, сульфат аммония, кальциевая селитра), двух доз азота (150 кг N/га и 150 кг N/га за вычетом содержания $N_{\text{мин}}$ в почве) и содержания $N_{\text{мин}}$ в пробах почвы (0-0,3 м; 0-0,6 м; 0-0,9 м), на урожайность и структуру урожая зерна кукурузы. Для всех опытных объектов предполагается одинаковый уровень удобрения фосфором и калием в дозах: 70 кг P_2O_5 /га и 130 кг K_2O /га. Для проведения опыта использовался сорт компании Euralis Semences под названием Fortran (FAO 210-200; простой гибрид S. С.; тип зерна flint). На протяжении двух лет исследований богатство почвы основными макроэлементами (P, K, Mg) было на среднем уровне, в то время как ее кислотность измеряемая в 1 М KCL колебалась от 5,4 в 2012 году до 6,0 в 2014 г. Образцы для анализа были собраны в фазе 5-6 листьев кукурузы.

Использование ингредиентов рассчитанные по следующей формуле:

Извлечение = (урожай сухого вещества x содержание данного компонента) /100

В которой:

- сбор – в кг/га,
- урожай сухого вещества – в кг/га,
- содержание данного компонента – в %.

Использование азота с дозы азотного удобрения:

$$N = (N_f - N_c) \times 100/D$$

Где:

N- использование азота (%),
 N_f – извлечение азота растениями с дозы азота (кг/га),
 N_c – извлечение азота растениями из объекта управления (без применения N) (кг/га),
 D – доза азота.

Эффективность азота в земледелии:

$$E_f = (Y_N - Y_0) / 100$$

Где:

E_f – эффективность земледелия (кг с.м./кг N используемого удобрения),
 Y_N – урожай с.м. растений для дозы азота (дт/га),
 Y_0 – урожай с.м. растений в объекте управления (дт/га),
 Физиологическая эффективность азота:

$$E_f = ((Y_N - Y_0) / (N_f - N_c)) * 100$$

Где:

E_f – физиологическая эффективность (кг с.м./кг N извлеченного азота),
 Y_N – урожай с.м. растений для дозы азота (дт/га),
 Y_0 – урожай с.м. растений в объекте управления (дт/га),
 N_f – извлечение азота растениями с дозы азота (кг/га),
 N_c – извлечение азота растениями из объекта управления (без применения N) (кг/га)

3. Результаты исследований и их обсуждение

В годы научных исследований (2012-2014) в синтетических условиях динамика первоначального роста кукурузы выражаемая урожаем сухого вещества в

фазе 5-6 листьев в значительной степени зависела от вида азотного удобрения, дозы азота, а также содержания $N_{мин}$ в почве (табл. 1). В самом деле, по сравнению с кальциевой селитрой, к большому значению обсуждаемой особенности (тот же уровень мочевины и сульфат аммония. В свою очередь, с учетом размера дозы азота, показан значительно высший выход урожая сухого вещества в обсуждаемой фазе развития кукурузы для дозы N_f , по отношению к дозе азота $150 - N_{мин}$. Разница между дозами азота составила 6,66 кг/га. Значительно более высокий выход сухого вещества в фазе 5-6 листьев подтвержден дисперсионным анализом при содержании $N_{мин}$ в почвенном профиле 0-0,6 м, по сравнению с уровнями 0-0,3 м и 0-0,9 м. Из этого следует, что на удобрение кукурузы азотом влиял слой почвенного профиля 0-0,6 м. Содержание азота в сухой массе растений кукурузы в фазе 5-6 листьев существенно зависела только от дозы азота. Значительно большее количество азота в сухой массе растений кукурузы в ювенильной фазе показало для дозы N_f , по сравнению с дозой рассчитанной по уравнению $150 - N_{мин}$. Разница между дозами азота составила 1,75 г/кг сухого вещества. Сбор азота с урожаем сухого вещества кукурузы в ювенильной стадии в значительной степени зависело от вида азотных удобрений, дозы азота, а также содержания $N_{мин}$ в почве. Действительно, наибольшая аккумуляция этого компонента была обнаружена в аммонийной селитре, мочеvine, сульфате аммония и самая низкая - в нитрате кальция.

В свою очередь, учитывая размер дозы азота, показатель аккумуляции N с урожаем сухого вещества кукурузы намного выше при дозе N_f , по сравнению с дозой азота $150 - N_{мин}$. При содержании в слое почвы 0-0,6 м и 0,9 м сбор азота с урожаем сухого вещества в фазе 5-6 листьев кукурузы наблюдался значительно высший по сравнению с уровнем 0-0,3 м. Собственные исследования показали, что сбор азота с урожаем сухого вещества в значительной степени зависело также от взаимодействия между видом азотного удобрения и дозой азота. Для каждого из проверяемых азотных удобрений, применение 150 кг N/га в минеральном

Таблица 1. Урожай сухого вещества, содержание N и использование азота в фазе 5-6 листьев (2012-2014)

Table 1. Dry matter yield, N content and nitrogen assimilation in 5-6 leaf phase (2012-2014)

Фактор – Уровни фактора		Сухая масса урожая	Содержание азота	Сбор азота
		кг/га	г/кг с.м.	кг N/га
Вид азотного удобрения	Аммонийная селитра	196,45	41,08	8,22
	Мочевина	206,74	39,80	8,38
	Сульфат аммония	198,28	42,43	8,48
	Кальциевая селитра	165,30	38,68	6,62
НСР 0,05		15,057	н.р.	0,632
Доза N кг/га	150	195,02	41,37	8,24
	150 - $N_{мин}$	188,36	39,62	7,61
НСР 0,05		5,633	1,196	0,232
Содержание $N_{мин}$ кг/га	0-0,3 м	188,63	40,03	7,73
	0-0,6 м	195,23	40,23	8,04
	0-0,9 м	191,21	41,22	8,01
НСР 0,05		6,389	н.р.	0,268
Средняя		191,69	40,49	7,93
Контроль 0 кг N/га		115,53	33,82	4,09

Источник: собственная разработка / Source: own study

Таблица 2. Взаимодействие вида азотного удобрения с дозой азотного удобрения (2012-2014)

Table 2. Interaction of the type of nitrogen fertilizer with the dose of nitrogen fertilizer for nitrogen assimilation (2012-2014)

Спецификация	кг N/га		
	150	150 - N _{мин}	Разница
Аммонийная селитра	8,38	8,06	0,32
Мочевина	8,74	8,03	0,71
Сульфат аммония	9,15	7,81	1,34
Кальциевая селитра	6,68	6,56	0,12
НСР 0,05	I x II = 0,465; II x I = 0,712		

Источник: собственная разработка / Source: own study

Таблица 3. Показатели эффективности использования азота (2012-2014)

Table 3. Nitrogen efficiency indicators (2012-2014)

Фактор – Уровни фактора		Эффективность земледелия	Физиологическая эффективность	Использование N
		кг с.м./кг N в удобрении	кг с.м./кг N извлеченного	%
Вид азотного удобрения	Аммонийная селитра	1,66	18,59	8,52
	Мочевина	1,74	21,29	7,58
	Сульфат аммония	1,53	16,65	8,13
	Кальциевая селитра	1,04	19,06	4,88
НСР 0,05		0,426	1,115	1,809
Доза N кг/га	150	0,52	17,57	2,85
	150 - N _{мин}	2,48	20,23	11,70
НСР 0,05		0,248	0,495	1,022
Содержание N _{мин} кг/га	0-0,3 м	0,65	19,21	3,23
	0-0,6 м	1,02	19,14	5,05
	0-0,9 м	2,80	18,35	13,55
НСР 0,05		0,267	0,652	1,120
Средняя		1,49	18,90	7,28
Контроль 0 кг N/га		-	-	-

Источник: собственная разработка / Source: own study

удобрении привело к более высокому значению по сравнению с уменьшенной дозой азота N_{мин} в почве. Эта разница колебалась от 1,34 кг N/га (сульфат аммония) и 0,12 кг/га (аммонийная селитра) (таблица 2). Однако существенные различия в сборе N между обследованными дозами азота наблюдаются у сульфата аммония и мочевины. Отсюда вытекает, что фактором дифференциации значения этой особенности было наличие серы в минеральных удобрениях (сульфат аммония) и использование азота в амидной форме (мочевина).

Эффективность земледелия в данном исследовании в синтетических условиях, в значительной степени зависела от вида азотного удобрения, дозы минерального азота, а также содержания N_{мин} в почвенном профиле (табл. 3).

Действительно, наибольший средний прирост урожая сухого вещества на 1 кг N используемого в удобрении приходится из-за аммонийной селитры (1,66 кг с.м./кг N применяемого), мочевины (1,74 кг с.м./кг N применяемого), сульфата аммония (1,53 кг с.м./кг N применяемого), в то время как существенно наименьший прирост из-за кальциевой селитры (1,04 кг с.м./кг N применяемого). Учитывая, в свою очередь, дозу минерального азота, исследования показали, что применение дозы N_f в форме удобрения привело к значительному уменьшению увеличения урожая зерна на 1 кг используемого N в удобрении на 1,96 кг с.м./кг N используемого, по сравнению с дозой азотного удобрения 150-N_{мин}. Большая эффективность земледелия азота была обнаружена в почвенном профиле

(0-0,9 м), по сравнению с профилями: 0-0,3 м и 0-0,6 м. В собственном исследовании, эффективность земледелия существенно зависела также от взаимодействия дозы азота с содержанием N_{мин} в почве (табл. 4).

Таблица 4. Взаимодействие дозы азота с содержанием N_{мин} на эффективность земледелия (2012-2014)

Table 4. Impact of nitrogen dose with N_{min} content on agricultural efficiency (2012-2014)

Спецификация	Эффективность земледелия кг с.м./кг N используемого		
	0-0,3м	0-0,6м	0-0,9м
150	0,52	0,55	0,50
150 - N _{мин}	0,77	1,50	5,10
НСР 0,05	II x III = 0,377; III x II = 0,396		
Разница	- 0,25	-0,95	-4,60

Источник: собственная разработка / Source: own study

С увеличением N_{мин} в почве из-за применяемой дозы азотного удобрения, эффективность земледелия подвергалась значительному повышению. Эти значения формировались соответственно: 0-0,3 м (0,25 кг с.м./кг N используемого), 0-0,6 м (0,95 кг с.м./кг N используемого), 0-0,9 м (4,6 кг с.м./кг N используемого). Физиологическая эффективность в синтетических условиях, с точки зрения многолетних исследований, в значительной степени зависела от вида азотного удобрения, дозы минерального азота и содержания N_{мин} в почвенном профиле (табл. 3). В действительности самый крупный, средний прирост урожая сухого

вещества на 1 кг используемого N в удобрении был благодаря мочеvine (21,29 кг с.м./кг N используемого), а самый низкий – из-за сульфата аммония (16,65 кг с.м./кг N используемого). Учитывая количество дозы минерального азота показывает, что применение дозы N_f в виде удобрения привело к значительно меньшему увеличению урожая зерна на 1 кг N используемого на 2,66 кг с.м./кг N используемого, по сравнению с дозой азотного удобрения 150- $N_{мин}$ (табл. 3). Значительно высшая физиологическая эффективность удобрения азотом кукурузы в фазе 5-6 листьев была отмечена при содержании $N_{мин}$ в профиле почвы 0-0,3 м и 0,9 м по сравнению с уровнем 0-0,9 м (табл. 3). Физиологическая эффективность азота в данном исследовании в большей степени зависела от взаимодействия вида азотного удобрения с дозой азота (табл. 5). Для каждого из исследованных азотных удобрений использование 150 кг N/га в минеральном удобрении привело к более низким значениям данного компонента, по сравнению с дозой азота, которая снизилась на $N_{мин}$ в почве (табл. 5). Физиологическая эффективность азота в исследовании в большей мере зависела также от взаимодействия дозы азота с содержанием $N_{мин}$ в почве (табл. 6). С увеличением $N_{мин}$ в почве, значение этого элемента подверглась значительному повышению. Эта зависимость описана линейным способом. Эта разница составила: 0-0,3 м (0,20 кг с.м./кг N извлеченного), 0-0,6 м (0,88 кг с.м./кг N извлеченного), 0-0,9 м (6,89 кг с.м./кг N извлеченного). В собственных исследованиях в синтетических условиях в течении периода трех лет, использование азотных удобрений в ювенильной стадии (5-6 листьев) в значительной степени зависело от вида азотного удобрения, дозы азота, а также содержания $N_{мин}$ в почвенном профиле (табл. 3). В действительности, наибольшее использование азота с дозы удобрения выявлен в аммонийной селитре, мочеvine и сульфате аммония, а самый низкий в кальциевой селитре (4,88%).

Использование азота для дозы азота 150- $N_{мин}$ по сравнению с дозой N_f было значительно больше. Разница между исследуемыми дозами азота на такой ранней стадии кукурузы достигала 8,85% (табл. 1). С увеличением содержания $N_{мин}$ в почве, использование азота с дозы минеральных удобрений линейно возрастала от 3,23% (0-0,3 м) до 13,55% (0-0,9 м). Набор чисел указывает на преобладающую роль почвенного слоя 0,6-0,9 м при использовании этого компонента. Использование азота в данном исследовании, существенно зависело от взаимодействия вида азотного удобрения с дозой азота (табл. 5). Для каждого из исследованных азотных удобрений использование 150 кг N/га в минеральном удобрении привело к более низким значениям этого элемента, по сравнению к дозе азота, которая снизила $N_{мин}$ в почве (табл. 5). Использование азота с дозы минерального удобрения в личных исследованиях, в значительной степени зависело также от взаимодействия между дозой азота и содержанием $N_{мин}$ в почве (табл. 6). С увеличением $N_{мин}$ в почве, использование азота с дозы минерального удобрения подвергалась значительному увеличению. Эта зависимость была описана линейным способом. Эта разница составила: 0-0,3 м (1,18%), 0-0,6 м (4,52%), 0-0,9 м (20,84). Использование азота из дозы азота N_f , независимо от содержания $N_{мин}$ в почве было статистически на том же уровне (табл. 6).

4. Заключение

В ювенильной фазе кукурузы (5-6 листьев) из всех исследованных азотных удобрений наихудшим оказалась кальциевая селитра, о чем свидетельствуют значения изучаемых качеств. Содержание азота в сухой массе растений кукурузы в фазе 5-6 листьев было значительно выше при дозе 150 кг/га по сравнению с дозой 150 кг/га - $N_{мин}$.

Таблица 5. Взаимодействие вида азотного удобрения с дозой азотного удобрения на физиологическую эффективность и использование азота (2012-2014)

Table 5. Impact of the type of nitrogen fertilizer with the dose of nitrogen fertilizer on the physiological efficiency and use of nitrogen(2012-2014)

Спецификация	Физиологическая эффективность кг д.м./кг N извлеченный			Использование N %		
	150	150 - $N_{мин}$	Разница	150	150 - $N_{мин}$	Разница
Аммонийная селитра	18,18	19,01	-0,83	3,24	13,81	-10,57
Мочеvine	19,67	22,91	-3,24	3,09	12,07	-8,98
Сульфат аммония	15,72	17,59	-1,87	3,37	12,89	-9,52
Кальциевая селитра	16,72	21,39	-4,67	1,72	8,03	-6,31
HCP 0.05	I x II = 0,991; II x I = 1,317			I x II = 2,045; II x I = 2,316		

Источник: собственная разработка / Source: own study

Таблица 6. Взаимодействие дозы азота с содержанием $N_{мин}$ на физиологическую эффективность и использование азота (2012-2014)

Table 6. Impact of nitrogen dose with $N_{мин}$ content on physiological efficiency and nitrogen use (2012-2014)

Спецификация	Физиологическая эффективность кг д.м./кг N в поглощении			Использование N %		
	0-0.3 м	0-0.6 м	0-0.9 м	0-0.3 м	0-0.6 м	0-0.9 м
150	19,11	18,70	14,90	2,64	2,79	3,13
150 - $N_{мин}$	19,31	19,58	21,79	3,82	7,31	23,97
HCP 0.05	II x III = 0,923; III x II = 0,902			II x III = 1,584; III x II = 1,649		
Разница	- 0,20	- 0,88	- 6,89	-1,18	-4,52	-20,84

Источник: собственная разработка / Source: own study

Минеральный азот ($N_{\text{мин}}$), содержащийся в почве зоны укоренения кукурузы (0-0,6 м), по существу, формирует аккумуляцию этого компонента за счет кукурузы. Минеральный азот ($N_{\text{мин}}$) значительно улучшает значение показателей эффективности использования азота. Эффективность земледелия и физиологическая эффективность, а также использование азота – увеличиваются прямо пропорционально количеству в почве $N_{\text{мин}}$, который включен в алгоритм расчета дозы азотных удобрений для выращивания кукурузы.

5. Литература

- [1] Andraski T., Bundy G.L., Brye K.R.: Crop management and corn nitrogen rate effects on nitrate leaching. *Journal Environ. Quality*, 2000, 29, 1095-1103.
- [2] Fan X.H., Li Y.C.: Nitrogen release from slow-release fertilizers as affected by soil type and temperature. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 2010, 74, 1635-1641.
- [3] Scharf P.C., William J., Wiebold J., Lory J.A.: Corn yield response to nitrogen fertilizer timing and deficiency level. *Agronomy Journal*, 2002, 94, 435-441.
- [4] Szulc P.: The effect of the sum of absolute values of nutrient status indexes in plants of two hybrid types of maize (*Zea mays* L.) on dynamics of dry matter accumulation in initial vegetation period at varied soil nitrogen and magnesium resources. *Fres. Envi. Bulletin*, 2013, Vol. 22, 9, 2616-2624.
- [5] Szulc P., Waligóra H., Michalski T., Rybus-Zajac M., Olejarski P.: Efficiency of nitrogen fertilization based on the fertilizer application method and type of maize cultivar (*Zea mays* L.). *Plant Soil Environ.*, 2016, 62 (3), 135-142.