



Використання азота кукурудзою

Підготував Володимир Андрущенко, менеджер з продукту Corteva Agriscience

Джейсон Дебруїн, науковий співробітник DuPont Pioneer, Макомб, Іллінойс, Стів Бутзен, Менеджер з агрономічної інформації DuPont Pioneer, Джонстон, Айова

Огляд

- Науковці Corteva проводять ґрунтовні дослідження, спрямовані на підвищення урожайності кукурудзи шляхом підвищення ефективності використання азоту (EVA) гібридами кукурудзи.
- Розуміння процесу використання азоту (N) кукурудзою є ключовим для покращення EVA кукурудзи науковцями та оптимального менеджменту постачання N аграріями.
- Сучасні дослідження університетів та Corteva Agriscience розкривають особливості споживання азоту в часі та джерел азоту для кукурудзи :
 - Азот для розвитку зернівок початку має два джерела: N, переміщений із вегетативних органів кукурудзи та N, який постійно вбирається із ґрунту. Таким чином, забезпечення азотом протягом всього періоду вегетації кукурудзи є критичним для максимізації урожаю.
 - На момент цвітіння (R1) кукурудза використовує приблизно 63% сезонної потреби в азоті. Решта споживається протягом наливу зерна (R1-R6).
 - Для отримання високих врожаїв необхідно 150-230 кг/га азоту для підтримки розвитку зерна. Приблизно 38% цієї потреби постачається із вегетативних органів кукурудзи, решта – за рахунок вбирання азоту із ґрунту після цвітіння .
 - При інтенсивному господарюванні споживання азоту кукурудзою після цвітіння може становити 95-145 кг/га.
- При внесенні азоту на рівні максимально можливого використання вірогідність його вбирання рослинами і потенційної наявності для підтримки формування та наливу зерна при цвітінні і пізньому розвитку збільшується
- Сезонний моніторинг наявності азоту в ґрунті дуже важливий тому, що 1) надає можливість попередити аграріїв про потенційну нестачу азоту з метою подальшого нівелювання цієї проблеми, 2) створює передумови для модифікації плану азотного живлення на майбутні роки



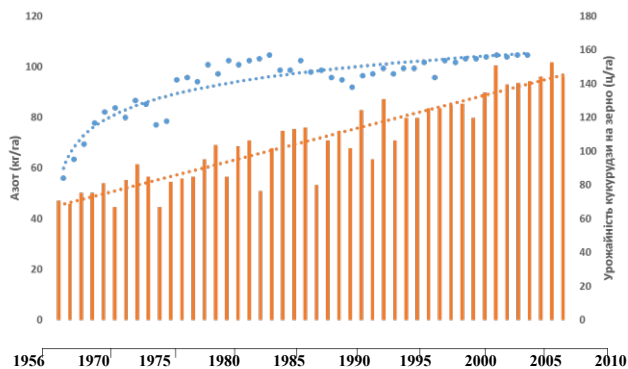
Фото 1. Кукурудзяне поле на початку інтенсивного вбирання азоту

Важливість азоту при вирощуванні кукурудзи

Азот – найбільш вживаний елемент і одна із найдорожчих складових при вирощуванні кукурудзи. Згідно досліджень у США внесення азоту складає 18% та 13% операційних витрат при вирощуванні кукурудзи по кукурудзі та кукурудзі по сої відповідно (Duffy 2014). Незважаючи на те, що віддача від внесення азотних добрив зазвичай більша, ніж від інших елементів живлення, аграрії повинні ефективно використовувати азот для досягнення максимальної користі. Це означає мінімізацію втрат азоту шляхом внесення необхідних кількостей у періоди максимальної потреби азоту рослиною. Одночасно слід бути впевненим, що азот не є лімітуючим фактором максимізації урожаю протягом всього вегетаційного періоду кукурудзи. Дуже важливою є достатня кількість азоту в періоду його максимального використання (V8 – VT) (Butzen, 2011). Дана стаття фокусується на важливості забезпечення азотом не тільки в період швидкого росту кукурудзи, а і під час пізнього наливу зерна – протягом всього вегетаційного періоду.

Підвищення ефективності використання азоту

Середня урожайність кукурудзи у США більш ніж подвоїлася протягом останніх 50 років, підвищилися і норми внесення азоту (графік 1.) Починаючи із 1980-х рівень внесення азоту спинився на позначці приблизно 150-160 кг/га, а урожайність продовжила рости (графік 1).

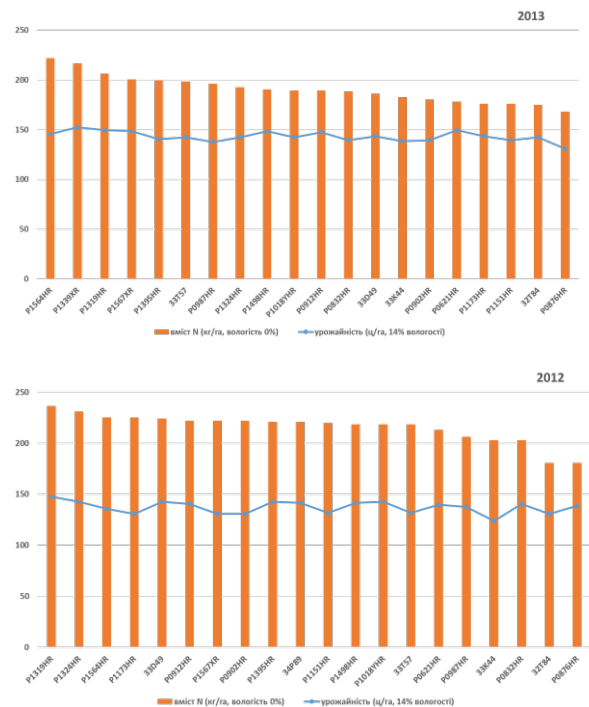


Графік 1. Історична урожайність кукурудзи на зерно та рівень внесення азоту у США. Джерело: USDA.

Це збільшення урожайності кукурудзи (1.3 ц/га щорічно, починаючи з 1980) при незмінному рівні внесення азоту, свідчить, що ефективність використання азоту (ЕВА, кгN/га) значно збільшилася. Підвищення ЕВА – результат покращень в генетиці та господарюванні.

Вміст азоту в зерні

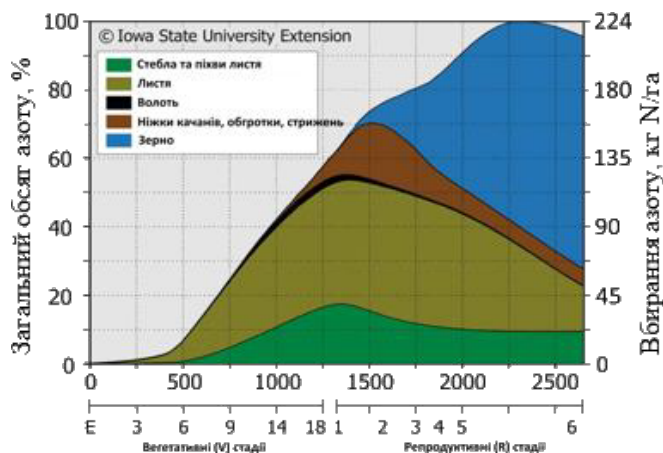
Науковці Corteva проводять фундаментальні дослідження в сфері збільшення урожайності кукурудзи за рахунок підвищення ЕВА. Розробка чіткого розуміння потреб в азоті при інтенсивному та екстенсивному господарюванні в умовах різного азотного живлення є ключовим при вдосконаленні ЕВА. В межах цього дослідження 20 гібридів Pioneer оцінювалися при інтенсивному вирощуванні біля Сіоти, ІІІ, протягом 2012-2013 років. Метою досліду було визначення вмісту азоту в конкретних гібридах (графік 2).



Графік 2. Вміст азоту в зерні та урожайність 20 гібридів, Сіота, ІІІ, 2012-2013

Урожайність в дослідженні коливалася від 126 до 157 ц/га. Середній вміст білку був в межах 9-10 %. Азот – основа всього білку в рослині та зерні; кожна частина азоту забезпечує виробництво 6.25 частин білку. В даному дослідженні утворилося 1050-1481 кг/га білку. Іншими словами, зерно винесло 168-237 кг азоту/га (графік 2).

Потреба рослини в азоті для формування зерна пропорційна урожайності. Сучасні дослідження доводять, що при урожайності 50-95 ц/га потреба в азоті складає менше, ніж 73 кг/га (таблиця 1). Коли урожайність перевищує 126 ц/га, вміст азоту складає 156 кг/га. Методичка Iowa State University наводить аналогічні показники азоту в зерні – 154 кг азоту/га при урожайності 141 ц/га (графік 3)



Графік 3. Сезонне вбирання азоту (кг N/га) з розподілом на листя, стебла, волоть, обгортки, стрижень та зерно в типовій рослині кукурудзи. Abndroth et al., Iowa State University Extension, 2011.

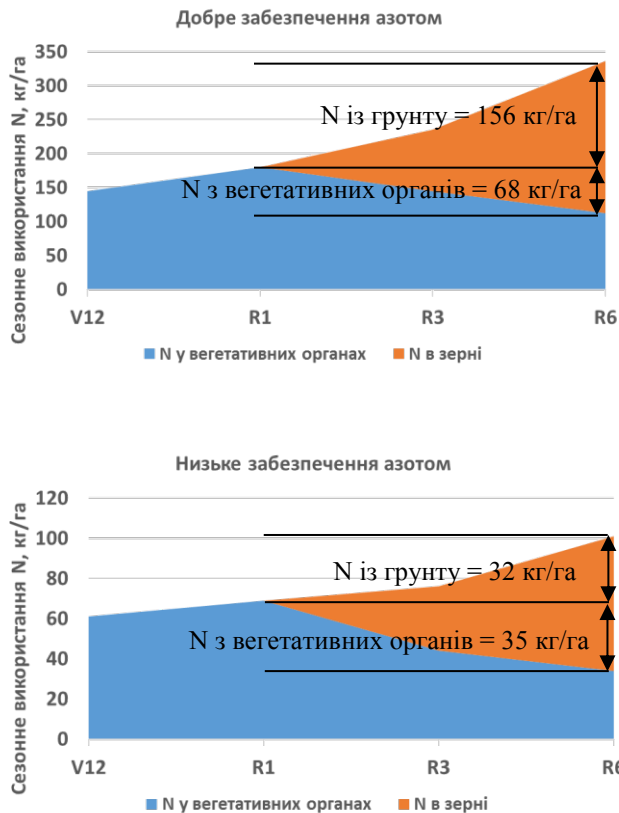
Час вбирання та джерело азоту

Важливість азотного живлення до цвітіння важко переоцінити, оскільки азот підтримує формування початків, закладку кількості зерен та їх розмір. Через це аграрії зазвичай намагалися забезпечити доступність азоту саме на початковому етапі вегетації, вважаючи внесення азоту після цвітіння не дуже важливим. Історичні дослідження по часу внесення азоту також підкреслювали важливість його раннього внесення. Більше того, переважна більшість досліджень стверджувала, що при наливі зерна майже вся потреба в азоті покривалася за рахунок його перерозподілу із листя та стебел до зернівок, зводячи до мінімуму вбирання азоту з ґрунту після цвітіння.

Однак всебічні дослідження останніх 5 років довели, що азот, необхідний для розвитку зерна, має 2 джерела походження: 1) перерозподіл із листя та стебел; 2) забір азоту із ґрунту. До такого висновку прийшли як науковці Corteva, так і представники дослідницьких інститутів.

Дослідження Corteva у Макомбі, ІІІ у 2012 році порівнювали «звичайний» рівень азоту – 224 кгN/га із низьким рівнем – 56 кгN/га. Отримані врожаї склали 157

ц/га при нормальному забезпеченні та 63 ц/га при низькому. При нормальному забезпеченні азотом 145, 180 та 336 кгN/га вбиралося на момент V12, R1 та R6 відповідно (графік 4). Із 224 кгN/га, що містилося в зерні на момент фізіологічної стиглості, 68 кг походило з вегетативних органів рослини (листя, стебла, тощо) і 156 кг було отримано із ґрунту після цвітіння (Графік 4).



Графік 4. Сезонне споживання азоту (кгN/га) при доброму та низькому азотному забезпеченні (Сіота, Ш, 2011).

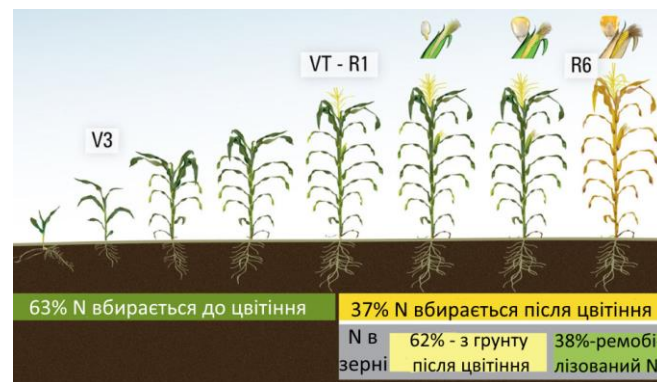
При низькому азотному живленні (урожайність на рівні 63 ц/га) споживання азоту на стадії R1 обмежувалося 69 кг/га і тільки 32 кг/га вбиралося із ґрунту після цвітіння (графік 4). Низьке забезпечення азотом імітує умови, коли доступний N обмежується вилугованням, денітрифікацією та недостатнім його внесенням.

В умовах низького азотного живлення, коли вбирання N після цвітіння не може в повному обсязі забезпечити формування зерна, решта азоту ремобілізується із вегетативних органів (стебла, листя, обгортки, стрижень). Листя – основне джерело ремобілізованого азоту. Сучасні дослідження, проведені в Іллінойсі та Індіані, показали, що в середньому доля ремобілізованого із вегетативних органів азоту складає 38%, а максимальне значення – 54% – має місце у сприятливих ґрунтово-кліматичних умовах із високим азотним живленням (таблиця 1). Незалежні дослідження ДеБруїна та інших (2012) зафіксували 63% як максимально можливий рівень ремобілізації азоту в зерно. Подальші дослідження

науковців Corteva довели, що кількість ремобілізованого із стебел азоту складає близько 20%, а перерозподіл азоту із обгортки та стрижня в зерно є дуже незначним.

Декілька університетських досліджень оцінювали час вбирання азоту. В дослідженні Державного Університету Айови приблизно 60% (135кгN/га) від загальної потреби в азоті (графік 3) було ввібрано і накопичено в листі, стеблах та початках на момент R1 (вихід шовку) в умовах сприятливих ґрунтово-кліматичних умов – рівень урожайності 140 ц/га (Abendroth et al., 2011). На момент фізіологічної стиглості (R6 – чорна точка) – загальний обсяг ввібраного азоту (вегетативні органи+зерно) досягав 213 кгN/га. Подальші розрахунки показують, що 80 кгN/га все ще повинні бути поглинуті після цвітіння для підтримки формування зерна.

Результати інших досліджень щодо пропорції азоту, що споживається до і після цвітіння, наведені на графіку 5 та в таблиці 1. Вони доводять, що кількість азоту, використаного до цвітіння, практично ідентична в умовах доброго і низького азотного живлення (63% та 62% відповідно). Незважаючи на те, що це – значна частка сезонної потреби в азоті, потреба в N після цвітіння коливається від 36 до 150 кгN/га.



Графік 5. Доля азоту, що вбирається до та після цвітіння, та % азоту у зерні, що вбирається із ґрунту після цвітіння (після VT-R1) і ремобілізується із вегетативних тканин.

Приклади важливості вбирання азоту після цвітіння наведені у таблиці 1. У 2 різних середовищах в Іллінойсі і Індіані з рівними урожайності більше 140 ц/га рівень поглинання азоту до R1 досягнув 188 кгN/га. Оскільки максимально можливе значення ремобілізованого азоту складає 54% від обсягу, що поглинувся до цвітіння, тільки 100 кгN/га буде доступне для наливу зерна. Припускаючи вміст білку в зерні на рівні 8% ця кількість азоту буде достатньою для формування урожаю тільки на рівні 80 ц/га. Таким чином, рівень урожайності кукурудзи буде дуже обмежений в разі використання для наливу зерна тільки ремобілізованого азоту, особливо це стосується полів, де наявність азоту зменшується за рахунок ґрунтово-кліматичних умов та через постійне недовнесення. Із таблиці 1 чітко видно, що сучасні гібриди в значній мірі залежать від вбирання азоту із ґрунту після цвітіння для успішного наливу зерна.

Таблиця 1. Підсумок поглинання N рослиною в фазі R1 та R6; потреби N на формування зерна в фазі R6; вбирання N після цвітіння та % азоту, який рослина вбирає після цвітіння разом із % азоту в зерні, джерелом якого є ремобілізований із вегетативних органів N на основі досліджень, проведених в Іліноїсі та Мінесоті, 2000 – 2012

Автор, рік публікації	Рік	Штат	Доза азоту	Урожайність	N в рослині на R1	N в рослині на R6	N в зерні на R6	Вбирання N після цвітіння ¹	Ремобілізований N в зерні ²	N, поглинутий до цвітіння	N, поглинутий після цвітіння	
			кг/га	ц/га	кг/га	кг/га	кг/га	кг/га	кг/га	кг/га	%	%
Hegele, 2013	2009-2010	Іліноїс	0	67	49	74	53	25	28	53	66	33
	2009-2010	Іліноїс	67	102	100	124	86	25	62	71	80	20
	2009-2010	Іліноїс	252	134	140	199	142	58	84	59	71	29
Bender, 2013a	2009-2010	Іліноїс	269	139	174	298	139	124	15	10	58	42
Bender, 2013b	2010	Іліноїс	269	141	185	286	166	101	65	39	65	35
Ciampitti, 2013	2010-2011	Індіана	0	66	92	142	89	50	38	43	65	35
	2010-2011	Індіана	224	127	189	270	177	81	96	54	70	30
Ciampitti, 2010	2009	Індіана	0	78	82	135	78	53	26	33	61	39
	2009	Індіана	331	104	122	213	123	91	33	26	57	43
Ciampitti, 2010	2009	Індіана	0	74	80	136	71	56	15	21	59	41
	2010	Індіана	331	85	120	202	99	82	17	17	59	41
DeBruin, 2011 ³	2011	Іліноїс	258	113	154	253	183	100	84	46	60	39
	2011	Іліноїс	0	50	39	94	58	55	3	6	41	58
DeBruin, 2012 ³	2012	Іліноїс	224	157	188	337	219	147	69	32	56	44
	2012	Іліноїс	0	63	71	101	65	30	35	53	70	30
Мінімум			0	50	39	74	53	25	3	6	41	20
Максимум			331	157	189	337	219	147	96	71	80	58
Середнє			148	100	119	191	117	72	45	38	63	37

¹N, що вбирається після цвітіння=N в рослині в R6-N в рослині в R1

²N в зерні, джерело – ремобілізація із вегетативних органів, кгN/га= N в рослині в R6-N, отриманий після цвітіння

³Внутрішні дослідження Corteva Agriscience, раніше не публікувалися

Час вбирання та джерело азоту

Одна з причин непорозуміння щодо поглинання азоту після цвітіння і його впливу на наливу зерна є думка, що сучасні, високоврожайні гібриди мають відмінний тренд вбирання N. Сучасними дослідженнями доведено, що гібриди сучасної селекції поглинають більші кількості N після цвітіння в порівнянні із старішими гібридами. Дослідження Ciampitti та Yun (2012) узагальнили 100 наукових праць по старим (1940-1990) і новим (1991-2011) гібридам (таблиця 2). Науковці прийшли до

висновку, що в середньому сучасні гібриди вбирали на 3 кг N більше протягом вегетаційного періоду. Ще більш важливим є час поглинання N рослинами: нові гібриди поглинають на 29% більше азоту після цвітіння в порівнянні із старими гібридами (таблиця 1).

Naegele (2013) поглибив дослідження щодо часу вбирання азоту рослинами кукурудзи. Він порівняв гібриди із 1970-х років із гібридами, виведеними після 2000 року (таблиця 2). Згідно його досліджень, сучасні гібриди поглинали на 3.6 кг N більше протягом вегетаційного сезону і акумулювали на 40% більше азоту після цвітіння в порівнянні із старими гібридами (таблиця

2). Оцінка гібридів Pioneer, які продавалися у 1934 – 2013 роках дала аналогічні результати: сучасні гібриди поглинають більше азоту протягом вегетаційного періоду, а по часу, в порівнянні із старими гібридами, більша частина поглинається після цвітіння. Враховуючи наведені напрацювання, варто зробити переоцінку рекомендацій щодо часу внесення азоту та підтримки достатнього рівня азотного живлення протягом репродуктивних фаз розвитку кукурудзи.

Таблиця 2. Час та кількості вбирання азоту старими та новими гібридами.

Час гібрида	N в R1	N в R6	Поглинання N після цвітіння	Ріст поглинання N після цвітіння
	кгN/га			%
Старі (1940-1990) ¹	114	163	48	29
Нові (1991-2011) ¹	108	170	62	
Старі (1970) ²	140	182	42	38
Нові (2000) ²	140	198	58	

¹Csarpitti and Vyn, 2012

²Haegerle et al., 2013

Довгостроковий план азотного живлення

В більшості випадків розвиток зерна (починається після запилення) стартує через 75-95 днів після посіву в залежності від стиглості гібриду. Однак значна частина азоту зазвичай вноситься безпосередньо перед посівом або навіть за 4-5 місяців до посіву (восени). На програми азотного живлення в значній мірі впливають завантаженість господарськими операціями та ціна азотних добрив. Частково береться до уваги потреба рослин в азоті (дрібно внесення, підживлення, тощо). Дуже рідко хтось бере до уваги потребу в азоті, який вбирається з ґрунту на пізніх етапах розвитку кукурудзи.

Забезпечити достатню кількість доступного для рослини азоту у ґрунті на пізніх стадіях розвитку кукурудзи – найважча складова програми азотного живлення. Доступність азоту залежить від багатьох факторів, які взаємодіють між собою:

- Кількість і час внесення азотних добрив
- Мінералізація органічних речовин у ґрунті, за рахунок чого утворюються доступні для рослин форми азоту
- Кліматичні фактори, що впливають на випаровування, вилуговування, денітрифікацію та мінералізацію
- Вбирання азоту рослинами протягом вегетаційних фаз розвитку
- Потенціальний рівень урожайності

Втрати від випаровування та вилуговування можуть сягати до 56 кг/га/рік в залежності від умов вирощування. Втрати від денітрифікації можуть бути на рівні 2-5% від загального вмісту азоту в ґрунті в день на насичених

ґрунтах. Рослини щоденно вбирають приблизно 1.1-3.1 кг/га/день. Спланувати достатню кількість азоту для вбирання рослиною після цвітіння досить важко, оскільки N із ґрунту легко втрачається та може дуже швидко вбиратися рослинами в період швидкого росту. Рівень впевненості в достатній кількості азоту для розвитку зерна після цвітіння зменшується по мірі збільшення інтервалу між внесенням азоту та початком формування та наливу зерна.

Багато програм азотного живлення передбачають внесення азоту восени або навесні перед посівом. Наявність азоту протягом вегетаційних фаз розвитку є дуже важливим моментом, оскільки більше, ніж 60% N вбирається рослинами до цвітіння (графік 5). Однак тільки 1/3 від цієї кількості пізніше ремобілізується із вегетаційних органів для розвитку зерна. При інтенсивному землеробстві, де потреби в азоті складають більше 200 кгN/га, важливість доступного азоту на пізніх етапах розвитку важко переоцінити.

Базуючись на дослідних даних щодо поглинання азоту до та після цвітіння, а також ремобілізації N логічною є розбудова програми азотного живлення, яка віддзеркалює потреби рослини з метою мінімізувати втрати і максимізувати поглинання азоту:

- Внесення 70% сезонної потреби в азоті перед посівом забезпечить ефективний вегетативний розвиток
- Внесення залишкових 30% на стільки пізно, наскільки дозволяє с.-г. обладнання, надає додаткові переваги в переважній більшості випадків.
 - Пізно внесення N дозволяє частково компенсувати його втрати через промивання дощем, яке може траплятися у травні – червні

Сучасне рішення – додавання стабілізатору азоту (**N-Лок™ Макс**) під час пізнього осіннього чи раннього весіннього внесення добрив з метою попередження надлишкового споживання азоту та відтермінування його поглинання до часу цвітіння або пізніше. **N-Лок™ Макс** слід застосовувати за допомогою звичайного надземного обприскувача з нормою робочого розчину 100-200 л/га до, одночасно чи після внесення азотних добрив. Він використовується з усіма типами азотних мінеральних добрив, гранульованими (карбамід, сульфат амонію), рідкими (КАС, аміачна вода), які містять азот в амонійній, амідній та аміачній формах та з рідким гноєм. Рідкі добрива та гній можна змішувати з **N-Лок™ Макс** безпосередньо в місцях збереження перед застосуванням або під час завантаження добрива у бочку. **N-Лок™ Макс** повинен бути зароблений в ґрунт протягом 10 днів після внесення добрив (культивация, полив, опади >12мм).

Аналіз досліджень, зроблений Wolt у 2004 році показав, що використання **N-Лок™ Макс** забезпечує підвищення урожайності на 7%, зростання доступного азоту в ґрунті

на 28%, зменшення вимивання азоту на 16% та зниження виділення парникових газів на 51%.

Висновки

Складання ефективної програми азотного живлення – критичний момент для максимізації урожаю та зменшення витрат на N. Найважливішим невідомим у цьому рівнянні є правильне визначення азоту в ґрунті, доступного для споживання рослинами. На вміст N в ґрунті безпосередньо впливають кількість опадів, температурний режим, тип ґрунту, кількість та час внесення азотних добрив. Використовуючи ці параметри та моделювання можна оцінити кількості наявного N. Порівняння тренду росту та розвитку кукурудзи із запланованим урожаєм дає змогу більш точно розрахувати, чи вистачить наявного у ґрунті азоту для забезпечення амбітних планів по урожаю. Corteva Agriscience – сільськогосподарський підрозділ DowDupont – постійно впроваджує нововведення у цій сфері. Так, у США наявна програма EncircaSM, покликана допомагати фермерам ефективно використовувати основні складові при виробництві кукурудзи, включаючи і азотне живлення. Encirca Yield дозволяє товаровиробникам нівелювати ризики і дає можливість моніторити та регулювати ґрунтове азотне живлення в режимі реального часу з метою максимізації прибутковості та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище.

Література

Abendroth, L.J., R.W. Elmore, M.J. Boyer, and S.K. Marlay. 2011. Corn growth and development. PMR 1009. Iowa State University Extension and Outreach, Ames, Iowa.

Bender, R.R., J.W. Haegerle, M.L. Ruffo, and F.E. Below. 2013a. Transgenic corn rootworm protection enhances uptake and postflowering mineral nutrient accumulation. *Agron. J.* 105:1626-1634.

Bender, R.R., J.W. Haegerle, M.L. Ruffo, and F.E. Below. 2013b. Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern transgenic insect-protected maize hybrids. *Agron. J.* 105:161-170.

Burzaco, J.P., I.A. Ciampitti, and T.J. Vyn. 2013. Nitrapyrin impacts on maize yield and nitrogen use efficiency with spring-applied nitrogen: field studies vs. meta-analysis comparison. *Agron. J.* 105:1-8.

Butzen, S. 2011. Nitrogen application timing in corn production. *Crop Insights* Vol. 21, no. 6. DuPont Pioneer, Johnston, IA.

Ciampitti, I.A., and T.J. Vyn. 2011. A comprehensive study of plant density consequences on nitrogen uptake dynamics of maize plants from vegetative to reproductive stages. *Field Crops Research* 121:2-18.

Ciampitti, I.A., and T.J. Vyn. 2012. Physiological perspectives of changes over time in maize yield dependency on nitrogen uptake and associated nitrogen efficiencies: a review. *Field Crops Research* 133:48-67.

Ciampitti, I.A., S.T. Murrell, J.J. Camberato, M. Tuinstra, Y. Xia, P. Friedemann, and T.J. Vyn. 2013. Physiological dynamics of maize nitrogen uptake and partitioning in response to plant density and nitrogen stress factors: II. reproductive phase. *Crop Sci.* 53: 2588-2602.

Ciampitti, I.A., and T.J. Vyn. 2013. Grain nitrogen source changes over time in maize: a review. *Crop Sci.* 53:366-377.

DeBruin, J., C.D. Messina, E. Munaro, K. Thompson, C. Conlon-Beckner, L. Fallis, D.M. Sevenich, R. Gupta, and K.S. Dhugga. 2013. N distribution in maize plant as a marker for grain yield and limits on its remobilization after flowering. *Plant Breeding* 132:500-505.

Duffy, M., 2014. Estimated costs of crop production in Iowa - *Ag Decision Maker FM 1712*. Iowa State University, Ames, Iowa.

Haegerle, J.W., K.A. Cook, D.M. Nichols, and F.E. Below. 2013. Changes in nitrogen use traits associated with genetic improvement for grain yield of maize hybrids released in different decades. *Crop Sci.* 53:1256-1268.

Luce, G., and J. Mathesius. 2010. Hybrid response to nitrogen fertilizer: are there differences? *Crop Insights* Vol. 19, no. 6. DuPont Pioneer, Johnston, IA.

Наведене вище має інформативний характер. Для більш детальної інформації звертайтеся до представників Піонер у вашому регіоні. Урожайність гібридів може бути різною і обумовлюється рядом факторів: посуха та перезволоження, тип ґрунту, обробіток ґрунту, вплив шкідників та хвороб. В кожному окремому випадку урожайність одного і того ж гібриду може відрізнятися.