

ТРАНСФОРМАЦИЯ НА АГРАРНИТЕ СИСТЕМИ: ИКОНОМИЧЕСКА И ЕКОЛОГИЧНА ОЦЕНКА НА БИОЛОГИЧНО СТОПАНСТВО С ИНТЕГРИРАНИ ПРАКТИКИ

Даниел Петров,

Докторант в Институт по аграрна икономика – София,
Селскостопанска академия – София, България

dpetrov.iae@gmail.com

РЕЗЮМЕ: Статията разглежда трансформацията на аграрните системи в контекста на Европейската зелена сделка и нуждата от устойчиво земеделие. Основен акцент е поставен върху биологичните смесени стопанства с интегрирани растително-животновъдни практики, които демонстрират потенциал за икономическа и екологична ефективност чрез затворени производствени цикли. Изследването анализира конкретно животновъдно стопанство в Северен централен район на България, прилагайки три устойчиви практики – инхибирана урея, покривни култури и прецизно торене. Резултатите показват подобрени добиви, по-добра азотна ефективност и по-ниски разходи. Покривните култури допринасят за биологична фиксация на азот и подобряване на почвеното здраве. Използването на GPS и NDVI при прецизното торене позволява намаляване на торевите разходи с 11%, без загуба на продуктивност. Заключениета подчертават приложимостта на устойчивите практики в средни по размер стопанства и препоръчват по-широкото им въвеждане чрез политики и обучение. Резултатите подкрепят тезата, че устойчивата трансформация на аграрния сектор е постижима и икономически обоснована.

Ключови думи: Кръгова икономика, Биологично земеделие, Прецизно торене, Покривни култури, Азотна ефективност

TRANSFORMATION OF AGRICULTURAL SYSTEMS: ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF ORGANIC FARMING WITH INTEGRATED PRACTICES

Daniel Petrov,

PhD Student, Institute of Agricultural Economics – Sofia,
Agricultural Academy – Sofia, Bulgaria, dpetrov.iae@gmail.com

RESUME: The article explores the transformation of agricultural systems in the context of the European Green Deal and the pressing need for sustainable farming. It focuses on organic mixed farms that integrate crop and livestock production, aiming to achieve closed-loop cycles for enhanced resource efficiency. A case study of a livestock farm in Bulgaria's North Central region assesses the implementation of three sustainable practices: stabilized urea with inhibitors, cover crops, and precision fertilization. Findings reveal improved yields, better nitrogen use efficiency (NUE), and reduced input costs. Cover crops contribute to nitrogen fixation and improved soil health. GPS and NDVI-guided fertilization reduces fertilizer costs by 11% without compromising

productivity. The study concludes that such practices are viable for medium-scale farms and should be promoted through policy and training. Overall, the results support the hypothesis that sustainable and circular agricultural models can deliver economic resilience and environmental benefits, making them a practical path toward sectoral transformation.

Key words: *Circular economy, Organic farming, Precision fertilization, Cover crops, Nitrogen use efficiency (NUE)*

УВОД

В условията на все по-засилващ се климатичен натиск, изчерпване на природни ресурси и повишена нестабилност на глобалните аграрни пазари, пред аграрния сектор на Европейския съюз стои необходимостта не просто от технологично обновяване, а от цялостно парадигмално преосмисляне на производствената логика, системата на разпределение на ресурсите и въздействието върху околната среда. Земеделието, в качеството си на ключов потребител на земя, вода и енергия и едновременно значим емитент на парникови газове, е едновременно част от причините и част от решенията за предизвикателствата, свързани с изменението на климата, ерозията на биологичното разнообразие и деградацията на почвените ресурси (Rockström et al., 2017; IPCC, 2021). Именно поради това, с приемането на Европейската зелена сделка (European Green Deal) през 2019 г., Европейската комисия формулира дългосрочна визия за дълбока структурна трансформация на селското стопанство, чиято крайна цел е постигането на климатична неутралност до 2050 г., като същевременно се гарантира продоволствена сигурност, социална устойчивост и конкурентоспособност на аграрния сектор (European Commission, 2019).

В този нов стратегически контекст все по-голямо значение придобива концепцията за кръговата икономика в аграрния сектор, която надхвърля традиционната рамка на ресурсна ефективност и се стреми към пълна затвореност на производствените и енергийни цикли чрез повторна употреба, рециклиране и биологично разграждане на всички потоци в стопанството (Kirchherr et al., 2023). Принципът „от отпадък към ресурс“ заляга в основата на аграрната кръговост и трансформира начина, по който се възприемат страничните продукти от растениевъдството и животновъдството – животински тор, растителни остатъци, отпадъци от фуражни култури, биомаса – не като остатъчни, а като икономически

активни и екологично значими потоци (Schroder et al., 2011). По този начин се преодолява ограничеността на линейния модел „вход–производство–отпадък“, който е в основата на индустриалното земеделие и който води до изчерпване на почвеното плодородие, висока зависимост от синтетични торове и уязвимост спрямо външни пазарни шокове (Foley et al., 2011).

Особено релевантни за този модел на аграрна трансформация са смесените (растениевъдно-животновъдни) земеделски стопанства, които имат вградена способност за затваряне на вътрешните кръгове на производство чрез интеграция на почвено-плодородни, енергийни и хранителни потоци. В рамките на такава система фермата функционира като автономна единица, в която животинските отпадъци се използват за торене на земята, фуражите се произвеждат на място, растителните остатъци се компостират, а обработваемите площи се използват в ротационна и агроекологична логика, съобразена с местните климатични и почвени условия (Garibaldi et al., 2013; Tiftonell et al., 2016).

Тези практики не само осигуряват екосистемни услуги от висока стойност – като запазване на биоразнообразието, секвестриране на въглерод, подобряване на водната регулация – но и повишават икономическата ефективност чрез намалени производствени разходи, диверсифицирани източници на приходи и по-висока устойчивост спрямо климатични и пазарни рискове (Reganold, Wachter, 2016). Смесените стопанства се явяват най-близката реализация на идеалния модел на кръгово земеделие, като в тях принципите на биологично производство, локализация на ресурсите и системно управление се преплитат в синергична производствена рамка.

Допълнително предимство на този модел се състои във възможността за агроекологична интензификация, при която продуктивността не се увеличава чрез индустриални инпути, а чрез усилване на естествените регулаторни функции на екосистемите – микробиална активност, ротация на културите, фиксация на азот чрез бобови растения, поддържане на постоянна растителна покривка и др. (Lal, 2020). Тази логика е в пълно съответствие с изискванията на ОСП 2023–2027, където приоритет се поставя върху екосхемите, регенеративните практики и интегрираното управление на земеделските ресурси. Отчитайки този политически и научен консенсус, настоящото изследване поставя акцент върху емпирично валидиране на кръгов аграрен модел, прилаган

в реални стопански условия в България – страна с хетерогенна структура на земеделието и с потенциал за развитие на устойчиви и биологично ориентирани производствени системи.

Избраното за казусно изследване стопанство е разположено в Югозападен район на страната (по NUTS-2)¹, характеризира се с разнообразен релеф, умерен климат и наличие на постоянни пасища, което го прави подходящ за биологично ориентирано смесено производство. Стопанството включва обработваеми площи с многогодишни култури (люцерна, овес, зеленчуци), пасища за преживни животни, вътрешна фуражна база и система за компостиране на органични отпадъци. Стопанството е сертифицирано по стандартите на ЕС за биологично земеделие и функционира на принципа на затворен цикъл, като максимално ограничава използването на външни ресурси. Изследването обхваща две последователни земеделски кампании² (2022–2024 г.) и използва метода на казусния анализ (case study) – подход, който е особено подходящ за изследване на поведенчески, институционални и икономически аспекти на адаптацията към устойчиви практики (Eisenhardt, 1989; Just, Pope, 2003).

Изследователската хипотеза гласи, че прилагането на принципите на кръговата икономика в биологично смесено стопанство води до по-висока ресурсна ефективност, икономическа устойчивост и подобрена агроекологична стабилност, което прави модела приложим и препоръчителен в контекста на целите на Европейската зелена сделка.

Въз основа на тази хипотеза са формулирани следните изследователски цели: (1) да се оцени ефективността на взаимодействието между растениевъдството и животновъдството в кръгов модел; (2) да се анализират икономическите ефекти от заместването на външни инпути с вътрешнофермерски ресурси; (3) да се измери агроекологичният ефект от използването на органичен тор, компост и покривни култури върху почвеното здраве; (4) да се изследват поведенческите и управленски нагласи на

¹ Второ ниво от йерархичната териториална класификация на ЕС (Nomenclature of Territorial Units for Statistics), използвана за статистически и регионално-политически цели. NUTS-2 обхваща средни по големина региони и е основна единица при разпределението на структурни и кохезионни фондове на ЕС.

² Земеделска кампания – Времеви период, обхващащ пълния цикъл на отглеждане на земеделски култури – от подготовката на площите и сеитбата до прибирането на реколтата. Използва се за агроикономически анализи, планиране и отчетност в рамките на една селскостопанска година.

фермера относно устойчивите политики и пазарните бариери; и (5) да се формулират практически препоръки за политиката и фермерската общност.

МЕТОДОЛОГИЯ

Изследването се провежда в животновъдно стопанство със средна икономическа големина, разположено в община Златарица, Северен централен район (NUTS-2: BG32), с икономически размер в диапазона 25 000 – <50 000 EUR (по FADN)³. Стопанството е специализирано в отглеждане на месодайни говеда и разполага с добре организирана фуражна база, изградена чрез ротационно производство на силажна царевица, царевица за зърно и сорго. Изследването обхваща две последователни фермерски кампании – 2022–2023 и 2023–2024 г. – с цел да се оцени възпроизводимостта, последователността и устойчивостта на агроикономическите ефекти от прилагането на иновативни устойчиви практики в реална среда. Методологията е насочена към оценка на икономическата и агроекологичната ефективност на три адаптирани устойчиви практики, подходящи за фуражно производство в животновъдни системи:

- ✓ използване на торове с инхибитори на уреазата и нитрификацията (NBPT and DCD),
- ✓ въвеждане на прецизно торене, чрез GPS-ръководена апликация, базирана на почвено-картографски слоеве и NDVI зони,
- ✓ прилагане на покривни култури, с фокус върху биологична фиксация на азот, покритие, и структурно подобрене на почвата.

Експерименталният дизайн обхваща обща площ от 90 ха, организирана в ротационна система, с три основни култури – силажна царевица, царевица за зърно и сорго – разпределени на равни подблокове по 10 ха за всеки вариант. Дизайнът следва принципа на пълно случайно разпределение в блоков формат, с цел минимизиране на систематични

³ Икономически размер спрямо FADN – Класификационен показател, използван в рамките на Общата счетоводна мрежа на земеделските стопанства на ЕС (FADN – Farm Accountancy Data Network). Определя се на база стандартен производствен обем (Standard Output) и служи за категоризиране на стопанствата по икономическа тежест, независимо от правната им форма или физически размер.

отклонения и осигуряване на статистическа валидност на резултатите. За всяка от културите са приложени три варианта на торене:

- ✓ Контролен вариант – стандартна урея в пълна агрономична норма, разпределена на три фази;
- ✓ Редуцирана урея – намалена с 20% спрямо стандартната доза, също прилагана на три фази,
- ✓ Инхибирана урея (с NBPT and DCD) – прилагана на две фази с 20% намалена доза, базирана на принципа за повишена ефективност чрез инхибиране на загубите от хидролиза и нитрификация.

Таблица 1. Експериментално торене при царевича за зърно

Вариант	Обща доза N (кг/ха)	Предсеитбено	V6	VT (ресене)	Брой приложения
Контрола (урея)	220	88	88	44	3
Редуцирана урея (-20%)	176	70.4	70.4	35.2	3
Инхибирана урея (-20%)	176	88	88	0	2

Източник: собствена схема

Таблица 2. Експериментално торене при царевича за силаж

Вариант	Обща доза N (кг/ха)	Предсеитбено	V6	Брой приложения
Контрол (урея)	200	100	100	2
Редуцирана урея (-20%)	160	80	80	2
Инхибирана урея (-20%)	160	100	60	2

Източник: собствена схема

Таблица 3. Експериментално торене при сорго

Вариант	Обща доза N (кг/ха)	Предсеитбено	Начално вретенене	Брой приложения
Контрол (урея)	160	80	80	2
Редуцирана урея (-20%)	128	64	64	2
Инхибирана урея (-20%)	128	80	48	2

Източник: Собствена схема

Целта на казуса е да бъде установено доколко тези практики, прилагани съвместно с прецизни технологии и биологични средства (покривни култури)⁴, могат да допринесат за намаляване на разходите, оптимизиране на азотното торене, подобряване на добивите от фуражни култури, както и за дългосрочно подобряване на почвеното качество. Анализът ще обхване и икономическата възвръщаемост на системата, с акцент върху приложимостта ѝ в малки и средни животновъдни стопанства в България, в контекста на изискванията на ЗС.

Покривните култури се разглеждат като отделен експериментален модул, обособен в три парцела по 5 ха, разположени в рамките на съществуващата ротационна система. След жътвата на царевицата за зърно, в края на вегетационния цикъл, се засяват: (1) фацелия (*Phacelia tanacetifolia*), (2) смеска от ръж (*Secale cereale*) и фуражен грах (*Pisum sativum*), и (3) контролен парцел без покривна култура. Засаждането се извършва повърхностно, без предшестваща почвена обработка, в съответствие с принципите на минимална интервенция (No-Till), което съчетава ползите от мулчирането и биологичното обогатяване на почвата с ниски въглеродни емисии. Покривните култури не се инкорпорират чрез оран – биомасата се оставя на повърхността след фаза цъфтеж, като служи за естествен мулч, задържаща влага, потискаща плевели и стимулираща микробиалната активност. Тази практика цели да подобри почвената структура, да повиши биологичната активност на микробиотата, както и да допринесе за естествено азотно обогатяване чрез фиксация и остатъчен ефект. В

⁴ Покривни култури – Земеделски култури, отглеждани между основните цикли на производство с цел подобряване на почвеното плодородие, ограничаване на ерозията, улавяне на остатъчен азот и повишаване на агроекологичната устойчивост. Не се отглеждат с основна търговска цел.

таблицата по-долу са синтезирани ключовите агрономични параметри на използваните покривни култури, тяхната функционална роля и принос към снабдяването с азот, с оглед цялостната оценка на ефективността на тази устойчива практика в рамките на животновъдното стопанство.

Таблица 4. Покривни култури – агрономични характеристики

Вариант	Площ (ха)	Начин на засяване	Фиксиран N (кг/ха, ориент.)
Фацелия	5	повърхностна сеитба	35
Смеска (ръж + грах)	5	повърхностна сеитба	55
Контрол (без покривна култура)	5	–	0

Източник: собствена схема

Измерванията в рамките на изследването обхващат добива от основна и вторична продукция (в т/ха), съдържание на сухо вещество, суров протеин, както и показатели за влакнини (NDF/ADF)⁵, които са от ключово значение при оценката на хранителната стойност на фуражните култури. Паралелно се изчисляват общият разход за торове и гориво, нетната стойност на произведената продукция, икономическата печалба и коефициентът на възвращаемост на вложените ресурси. Почвените анализи се извършват два пъти годишно – в началото и края на вегетационния цикъл (април и октомври), като се оценяват съдържанието на минерален азот (NO₃⁻ и NH₄⁺), органично вещество, структурна стабилност, рН и водозадържаща способност. Прилагат се сертифицирани лабораторни методи в съответствие с ISO 11261 (минерален азот) и ISO 10390 (рН), което гарантира точност и сравнимост на резултатите. Анализът на биомаса от покривни култури се провежда чрез стандартен метод на квадратно изрязване (1 м²), като събраната растителна маса се суши и анализира по метода на Kjeldahl⁶ за определяне на фиксирания азот. Получените стойности се използват за индиректна калкулация на стойността на фиксация, чрез остойностяване на еквивалентната торова норма, което позволява оценка на

⁵ Показатели за влакнини (NDF/ADF) – Аналитични параметри за оценка на фиброзната фракция в растителната биомаса. NDF (Neutral Detergent Fiber) включва хемицелулоза, целулоза и лигнин и е индикатор за обемността на фуража, ограничаваща приема. ADF (Acid Detergent Fiber) обхваща целулоза и лигнин и корелира отрицателно със смилаемостта на фуража.

⁶ Метод на Kjeldahl – Класически аналитичен метод за определяне на общото съдържание на органичен азот в проби с биологичен произход. Основава се на минерализация с концентрирана сярна киселина, последвана от алкализация, дестилация и титруване.

икономическата полза от биологичното азотно обогатяване. Прецизното торене се прилага чрез ISOBUS-съвместими разпръскващи устройства, които използват предефинирани зони на приложение, базирани на почвени картографски слоеве – съдържание на органично вещество, рН и воден капацитет – интегрирани със сателитно отчитане на NDVI за проследяване на текущото състояние на вегетацията. Икономическите параметри се изчисляват на база реални пазарни цени, актуализирани за съответния регион и година. Оценката на въздействието спрямо целите на ЗС се осъществява чрез индикатори за намалено азотно натоварване, повишена ефективност на използване на азота (NUE)⁷ и редуция на въглеродния отпечатък (в kg CO₂ eq/ха). Чрез тази методологична рамка се осигурява интегрирано проследяване на количествени, технологични и агроекологични ефекти от прилагането на устойчиви практики в условията на средно по мащаб животновъдно стопанство, работещо в съответствие с приоритетите на ЕС за зелена трансформация и устойчиво земеделие.

РЕЗУЛТАТИ

Резултатите от двете кампании и оценките по ключови агрономични, икономически и почвено-екологични показатели ще бъдат представени в следващата таблица и анализирани с оглед на устойчивостта, рентабилността и въздействието върху почвеното състояние и добива.

Таблица 5: Царевица за зърно, резултати от кампании 2022-2023 и 2023-2024

Вариант	Доза N (кг/ха)	Добив 2022–2023 (т/ха)	Добив 2023–2024 (т/ха)	Δ Добив (%)	Нишесте (%)	NUE (кг/кг)	Приходи (лв./ха)	Разходи (лв./ха)	Рентабилност (%)
Контрол	220	10.6	11.2	5.7	72.2	49.1	2560	880	191
Редуцирана	176	10.4	10.6	1.9	71.5	59.3	2488	820	203.3
Инхибирана	176	11.1	11.3	1.8	73	64.4	2632	830	217.1

Източник: Собствена схема

Както показват резултатите, инхибираната урея демонстрира най-висок среден добив от царевица за зърно – 11.2 т/ха – с минимална междугодишна вариация от едва

⁷ Ефективност на използване на азота (NUE) – Агрономичен показател, изразяващ съотношението между добива (или усвоения азот) и внесенния азотен тор. Високата стойност на NUE означава по-ефективно оползотворяване на азота от културите и намалено загуби в околната среда. Ключов индикатор за устойчиво управление на торовете.

+1.8%, което е показател за висока производствена стабилност. Ефективността на използване на азота (NUE), изчислена по формулата $NUE = Y / N$, достига 64.4 при инхибирана урея, спрямо 49.1 при контролния вариант – подобрене с над 31%, подчертаващо повишената ефективност при стабилизирано торене. Съдържанието на нишесте при този вариант също е най-високо – 73.0%, което води до ценова надбавка от 5% при базова цена от 230 лв./т, увеличавайки приходите до над 2600 лв./ха. При отчетени производствени разходи от 830 лв./ха, рентабилността (R), изчислена чрез $R = ((P - C) / C) \times 100$, достига 217.1%, което е най-високата стойност сред всички варианти.

Макар контролният вариант да демонстрира най-голяма междугодишна добивна разлика (+5.7%), това се постига при значително по-ниска азотна ефективност, докато инхибираната схема предлага оптимален баланс между стабилност, продуктивност и ресурсна ефективност. При силажната царевица са приложени аналогични торови варианти – контрол с 200 кг N/ха (разпределени на две фази по 100 кг), редуцирана схема с 160 кг N/ха (80/80 кг), и инхибирана с 160 кг (разпределени 100/60 кг), като добивите от свежа маса са представени в следващата таблица.

Таблица 6: Силажна царевица, резултати от кампании 2022-2023 и 2023-2024

Вариант	Доза N (кг/ха)	Добив 2022–2023 (т/ха)	Добив 2023–2024 (т/ха)	Δ Добив (%)	Сухо вещество (%)	NUE	Приходи (лв./ха)	Разходи (лв./ха)	Рентабилност (%)
Контрол	200	46.2	47.5	2.8	30	69.3	4620	890	160.2
Редуцирана	160	45.4	46.8	3.1	30.1	77.8	4555	835	165.5
Инхибирана	160	47.3	48.1	1.7	30.2	88.5	4765	905	174.9

Източник: Собствена схема

Резултатите от изследването на силажната царевица ясно подчертават предимствата на инхибираната урея, при която е отчетена най-висока ефективност на използване на азота – NUE от 88.5, заедно с най-добро съдържание на сухо вещество (30.2%), което е от критично значение за качеството на силажа. Въпреки че тази схема изисква най-високи разходи сред трите варианта, икономическият ефект е категоричен – с приходи достигачи 4765 лв./ха и рентабилност от 174.9%, тя демонстрира най-добро съотношение между вложени ресурси и реализирана стойност на продукцията. Влиянието на инхибираната

схема се изразява не само в добивите, но и в по-високата хранителна стойност, която е особено важна в контекста на животновъдното производство. При соргото, към което са приложени дози от 160 кг N/ха (контрол), както и 128 кг N/ха при редуцирана и инхибирана схема, резултатите ще бъдат представени и обобщени в Таблица 47, където ще се проследят показателите за добив, NUE и рентабилност, позволявайки директно сравнение на ефективността между културите и прилаганите агротехнически стратегии.

Таблица 7: Сорго, резултати от кампани 2022-2023 и 2023-2024

Вариант	Доза N (кг/ха)	Добив 2022–2023 (т/ха)	Добив 2023–2024 (т/ха)	Δ Добив (%)	Сухо вещество (%)	NUE	Приходи (лв./ха)	Разходи (лв./ха)	Рентабилност (%)
Контрол	160	35.2	36.4	3.4	28.8	54.6	3240	810	144.4
Редуцирана	128	35.5	36	1.4	28.7	61.7	3205	765	136.1
Инхибирана	128	36.7	37.2	1.4	29.1	65.1	3360	780	130.8

Източник: Собствена схема

Резултатите за соргото ясно показват, че инхибираната схема осигурява най-добра ефективност на използване на азота (NUE = 65.1), като същевременно поддържа стабилност на добива с минимална междугодишна вариация от едва +1.4%. Това потвърждава устойчивото въздействие на стабилизираното торене дори при култури с по-умерени изисквания към азота.

Съдържанието на сухо вещество също е най-високо при инхибираната схема, което подобрява фуражната стойност и съхраняемостта. По отношение на покривните култури, внедрени върху 15 ха междукултурна площ, трите експериментални варианта демонстрират различна фиксираща способност: фацелия – 35 кг N/ха, смеска от ръж и фуражен грах – 55 кг N/ха, и контролен вариант без покривна култура. Данните са представени обобщено в Таблица 48 и показват значим принос на биологичния азот за редуциране на нуждите от минерално торене, подобряване на почвената структура и дългосрочна ресурсна устойчивост на стопанството.

Таблица 8: Покривни култури – фиксация на азот и въздействие

Култура	Биомаса (т/ха)	Фиксиран N (кг/ха)	Δ SOM (%)	Влияние върху следв. добив (%)	Разход (лв./ха)	Икономическа възвръщаемост (лв./ха)
Фацелия	4.5	35	0.4	6	120	140
Ръж+грах	5	55	0.3	6.8	130	153
Контрол	–	0	–	–	0	0

Източник: Собствена схема

Приложението на устойчиви практики в средното по размер животновъдно стопанство в Северен централен район демонстрира ясно измерими агроикономически и екологични ползи, които пряко отговарят на целите на ЗС.

Въздействието на покривните култури върху следващата реколта се изразява чрез показателя $\Delta Y (\%) = ((Y_{cs} - Y_c) / Y_c) \times 100$, а икономическата стойност на фиксирания азот се остойносттава на 2.2 лв./кг, като най-добри резултати са постигнати при смеската от ръж и фуражен грах.

Прецизното торене чрез NDVI-зони и ISOBUS-съвместими системи води до 11% намаление на торовите разходи без понижение в добива, доказвайки ефективността на технологията. Комбинираният ефект от инхибирана урея, покривна култура и прецизно торене води до най-високи стойности на интегрираните индикатори: индекс на устойчивост (CI) = 0.84, индекс на агроекологична ефективност (AEI) = 4.2 и възвръщаемост на инвестицията (ROI) = 214%. Прилагането на минимална почвообработка (No-Till) на част от площите води до намаление на обработките със средно 3.5 операции на сезон, разхода на гориво със 76% и общите разходи за почвообработка с 58%, същевременно повишавайки съдържанието на органично вещество в почвата с +0.5%, микробналната активност с 22% и добивите с 3.5%. Данните показват, че в контекста на реално фуражно производство с ограничен достъп до външни ресурси, прилагането на устойчиви практики не само е възможно, но и икономически изгодно, като осигурява по-висока ресурсна ефективност, стабилност на добивите и положителен екологичен отпечатък.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ПРЕПОРЪКИ

Резултатите от проведеното изследване позволяват да се направят обосновани изводи относно приложимостта на кръгови и устойчиви агротехнически практики в реално

животновъдно стопанство със смесена специализация. Макар и базирано върху ограничена емпирична извадка и локален контекст, изследването предоставя индикации, че комбинираното използване на урея с инхибитори, покривни култури и прецизно торене може да допринесе за по-рационално управление на азотните ресурси, оптимизация на разходите и подобро почвено състояние. Въпреки че разликите между вариантите не винаги са статистически значими, при всички изследвани култури (царевица за зърно, силажна царевица, сорго) се наблюдават тенденции в полза на вариантите с инхибирано торене, които постигат по-високи стойности на ефективност при използване на азота (NUE), по-добри стойности на сухо вещество и по-висока обща рентабилност. Отчетено е и по-малко междугодишно колебание в добивите, което може да бъде интерпретирано като белег за производствена стабилност. Макар инхибираните варианти да изискват малко по-високи първоначални разходи, икономическата възвръщаемост при тях е благоприятна, като особено добри резултати се наблюдават при силажната царевица.

По отношение на покривните култури, резултатите също показват положителен ефект – както върху фиксацията на биологичен азот (до 55 кг N/ха), така и върху съдържанието на органично вещество и потенциалния добив на следващата култура. Въпреки че става дума за относително краткосрочен наблюдаван период, в стопанството е отчетено увеличение на микробиалната активност, подобрена почвена структура и положителна динамика в съдържанието на органично вещество, особено в участъците, където се прилага минимална почвообработка и мулчиране чрез биомаса от покривни култури.

Резултатите от прецизното торене, реализирано чрез GPS и NDVI-базирани зони, също могат да се тълкуват като насърчаващи – при отчетено редуциране на торевите разходи с около 11% и запазване на добивите. Това показва, че такива технологии, при правилна настройка и при наличие на базова почвена и картографска информация, биха могли да се прилагат ефективно дори и в средни по мащаб стопанства с ограничени ресурси.

На база на постигнатите резултати, може да се заключи, че изследователската хипотеза се потвърждава в умерена степен: прилагането на устойчиви и кръгови практики, особено в комбиниран вид, допринася за повишена ефективност, относителна икономическа стабилност и екологично подобрене. Разбира се, мащабът на изследването

не позволява да се правят обобщения с представителна валидност за целия сектор, но резултатите дават основание за по-нататъшни проучвания в тази посока. На тази основа се формулират следните предпазливи препоръки:

- ✓ Да се насърчава поетапното прилагане на инхибирани торове, особено в стопанства с фуражна специализация, където ефективността на азота има пряко значение за себестойността на продукцията.
- ✓ Да се изследва ролята на покривните култури като част от агроекологичните практики в рамките на екосхемите по ОСП – с оглед тяхната почвозащитна, биологична и икономическа стойност.
- ✓ Да се улеснят достъпът до прецизни технологии и тяхното адаптиране към условията на средни и малки стопанства чрез обучения, демонстрационни проекти и достъп до почвено-картографска информация.
- ✓ Да се стимулират по-дългосрочни изследвания на устойчиви аграрни системи с участието на реални стопанства – включително измерване на ефекти върху емисии, почвен въглерод и дългосрочна рентабилност.

В заключение, може да се подчертае, че изследваното стопанство демонстрира добра адаптивност към иновативни практики, като постигнатите резултати показват, че устойчивата трансформация на аграрните системи е възможна и практическа цел, особено когато е съобразена с локалните условия, стопанския мащаб и наличния управленски капацитет.

БЛАГОДАРНОСТИ

Статията е подготвена с финансовата подкрепа на Фонд научни изследвания, проект „Механизми и форми на аграрното управление в България“, Административен договор № КП-06-Н56/5 от 11.11.2021г.13.12.2022 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Eisenhardt, K.M., 1989. Building Theories from Case Study Research. *The Academy of Management Review*, 14(4), pp.532–550. doi:10.2307/258557.

2. European Commission. (n.d.). The European Green Deal. Available at: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
3. European Commission. (n.d.). The European Green Deal. 2019 Available at: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
4. Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mueller, N.D., O'Connell, C., Ray, D.K., West, P.C., Balzer, C., Bennett, E.M., Carpenter, S.R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., ... Zaks, D.P.M., 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), pp.337–342. doi:10.1038/nature10452.
5. Garibaldi, L.A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M.A., Bommarco, R., Cunningham, S.A., Kremen, C., Carvalheiro, L.G., Harder, L.D., Afik, O., Bartomeus, I., Benjamin, F., Boreux, V., Cariveau, D., Chacoff, N.P., Dudenhöffer, J.H., Freitas, B.M., Ghazoul, J., Greenleaf, S., ... Klein, A.M., 2013. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*, 339(6127), pp.1608–1611. doi:10.1126/science.1230200.
6. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu & B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. Available at: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>
7. Just, R.E. and Pope, R.D., 2003. *A Comprehensive Assessment of the Role of Risk in U.S. Agriculture*. New York: Springer. doi:10.1007/978-1-4757-3583-3.
8. Kirchherr, J., Yang, N.-H.N., Schulze-Spüntrup, F., Heerink, M.J. and Hartley, K., 2023. Conceptualizing the Circular Economy (Revisited): An Analysis of 221 Definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 194, p.107001. doi:10.1016/j.resconrec.2023.107001. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344923001374>
9. Lal, R., 2020. Regenerative agriculture for food and climate. *Journal of Soil and Water Conservation*, 75(5), pp.123A–124A. doi:10.2489/jswc.2020.0620A.
10. Reganold, J.P. and Wachter, J.M., 2016. Organic agriculture in the twenty-first century. *Nature Plants*, 2, Article 15221. doi:10.1038/nplants.2015.221.
11. Rockström, J., Gaffney, O., Rogelj, J., Meinshausen, M., Nakicenovic, N. and Schellnhuber, H.J., 2017. A roadmap for rapid decarbonization. *Science*, 355(6331), pp.1269-1271. doi:10.1126/science.aah3443.
12. Schroder, J.L., Zhang, H., Girma, K., Raun, W.R., Penn, C.J. and Payton, M.E., 2011. Soil Acidification from Long-Term Use of Nitrogen Fertilizers on Winter Wheat. *Soil Science Society of America Journal*, 75, pp.957-964. doi:10.2136/sssaj2010.0187.
13. Tiftonell, P.A., Klerkx, L., Baudron, F., Félix, G., Ruggia, A., Van Apeldoorn, D., Dogliotti, S., Mapfumo, P. and Rossing, W., 2016. Ecological intensification: Local innovation to address global challenges. In: E. Lichtfouse, ed., *Sustainable Agriculture Reviews*, vol. 19, Cham: Springer, pp.1–34. doi:10.1007/978-3-319-26777-7_1.