

## СУЧАСНІ СИСТЕМИ ПРОВЕДЕННЯ ІНОКУЛЯЦІЇ ПОСІВНОГО МАТЕРІАЛУ ПРОСАПНИХ КУЛЬТУР

Шелест Микола Сергійович

здобувач вищої освіти доктора філософії  
Сумський національний аграрний університет, м. Суми, Україна  
ORCID: 0000-0001-5722-8944  
koladj1992@gmail.com

Інокуляція посівного матеріалу доволі часто вивчається вченими з точки зору впливу процесу на розвиток культури. Однак, існує дуже мало інформації щодо забезпечення самої технологічної операції вологої інокуляції насіння. Водночас, процес інокуляції забезпечується в основному застарілими засобами механізації. Хоч інокуляція доволі часто застосовується в Україні при вирощуванні бобових культур, процес обробки насіння інокулянтами досі не був оптимізований. Найчастіше для проведення технологічної операції використовують агрегати для протруювання насіння, це потребує не лише великих енергозатрат, а й залучення великої кількості працівників. Тому, метою цього дослідження було вивчити агромашини, що здатні проводити інокуляцію саме під час сівби культури для забезпечення дотримання агронома і підвищення енергоефективності агропідприємств. В аналізі літературних джерел було визначено і проаналізовано три системи, що теоретично могли б задовольнити вимоги, які ставляться перед операторами водіння і агрономами при проведенні інокуляції. Серед них системи, що відкривають борозну диском або ж лапою культиватором та системи-інжектори. Для кожної з них виявлено переваги і недоліки їх експлуатації в якості системи для інокуляції. Найбільш підходящими для проведення інокуляції засобами, що можуть задовольнити потреби агровиробників, було визначено спеціальний аплікатор StandMax Hunter CS та системи розпилення від ТМ Raven, які встановлюють на посівні комплекси та використовуються закордонними агровиробниками. Також, в статті висвітлено особливості систем та компонентів, що в них використовуються. Серед них типи форсунок, які можуть використовуватись у системах інокуляції; сенсори для контролю вливу рідини; невід'ємними компонентами є також мікропроцесори та програмне забезпечення. Однак, під час пошуку та аналізу літературних джерел не було знайдено методики та рекомендацій щодо внесення інокулянтів в ґрунт під час сівби, тому ця тема потребує подальшого більш детального дослідження.

**Ключові слова:** зерно, посів, сівалка, висівальний апарат, якість.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.3.13>

**Вступ.** В останні роки людство все більше замислюється про технології, що допоможуть зберегти планету. Для цього світовими лідерами було визначено «Глобальні цілі», що сприяють цьому. Найбільш важливими для життя людини є цілі «збереження екосистем суші» і «подолання голоду», адже це два основних питання завдяки яким люди існують. Одним із можливих вирішень цих двох проблем є перехід людства на органічний спосіб вирощування аграрних культур, тобто використання лише органічних добрив, або ж мікроорганізмів як засіб для підвищення врожайності та запобігання деградації ґрунту (He et al., 2022; Qiao et al., 2022; Moskeviciene et al., 2022).

Інокуляція – важливий елемент технології вирощування бобових (Kutawat et al., 2022; Ibrahim & El-Sawah, 2022; Mehboob et al., 2022; Danylchenko & Zhatova, 2016; Danylchenko et al., 2018; Berdin et al., 2013) та інших сільськогосподарських культур (Kusale et al., 2021; Adeleke et al., 2021; Datsko, 2021), що є одним із засобів, який дозволяє підвищити врожайність завдяки інтродукції корисних мікроорганізмів і водночас є цілковито безпечним для навколишнього середовища. Існує декілька способів інокуляції посівного матеріалу, залежать вони від власне самого препарату і його форми. Наразі ми беремо до уваги саме вологий метод інокуляції, тобто з додаванням до нього незначної кількості води при обробці насіння (Ovcharuk et al., 2020). В більшості аграрних підприємств України досі використовують технологічно застарілі

та енергозатратні засоби для проведення цієї операції, а саме протруювачі насіння (Tkachuk, 2014; Kotenko & Ratushnyi, 2017), або ж обробка буртів ручним оприскуванням з подальшим ручним перемішуванням чи взагалі перемішування посівного матеріалу і інокулянта у бетонозмішувачі. Така технологія заселення корисних мікроорганізмів на поверхню насіння створює доволі багато проблем та незручностей, а головне не задовольняє агрономи.

Однією із головних вимог будь-якої культури при посіві є кількість вологи у ґрунті, що зможе забезпечити проростання насіння. Для кукурудзи, наприклад, цей показник становить 30% вологості ґрунту (Zubko et al., 2021), при цьому, його температура не повинна бути нижчою за 10–12°C (Grabovskiy, 2018). Водночас, для мікроорганізмів, що містяться в інокулянтах температура також відіграє важливу роль і повинна бути в межах 10–30°C (Welver, 2019). Наразі, досліджуються нові варіанти інокуляції насіння, тобто безпосередньо в борозні (Schiffmann & Alper, 1968; Rezende et al., 2016; Oliveira et al., 2019).

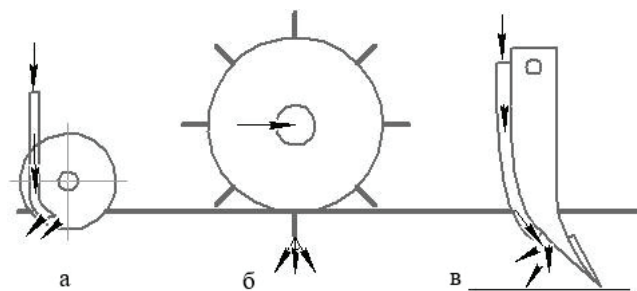
Тому, **метою** цього дослідження є опис систем, що теоретично здатні проводити інокуляції культур при посіві, а також виявлення їх переваг і недоліків.

**Результати.** На сьогодні, для проведення інокуляції в польових умовах і безпосередньо під час сівби не визначено чіткої процедури чи спеціального агрегату. Однак, деякі вчені вже пропонували механізм вирішення цієї задачі (Manea et al., 2009; Dražić, 2017; Sahu et al.,

2018). А в дослідженнях (da Rosa et al., 2020, Jordan et al., 2018, Tubbs et al., 2015 та Denton et al., 2017) були порівняні способи якими проводять інокуляцію та їх вплив на культури. Переважно, як науковці так і компанії, що пропонують агрегатувати посівний комплекс обладнанням для інокуляції, бачать вирішення цього питання за рахунок систем, що здатні вносити рідкі мінеральні добрива у ґрунт (Sundaram et al., 2019; Trimurtulu et al., 2014; Kalnahuz et al., 2021; Pierson et al., 2018). Теоретично, дані судження є вірними. Тому, необхідно проаналізувати наскільки дані системи підходять для обробки посівного матеріалу інокулянтами.

Серед всіх існуючих типів внесення рідких мінеральних добрив необхідно виділи ті, що могли б підійти для проведення інокуляції (Palgrave, 2020; Kyveruga et al., 2018; Semernia & Kalnahuz, 2016):

1. Системи, що відкривають борозну диском і дозволяють вносити рідке добриво у борозну (Рис. 1, а);
2. Системи з інжекторним типом (Рис. 1, б) внесення рідких добрив (Bautista et al., 2000);
3. Системи, що відкривають борозну робочим органом типу «лапа культиватора» (Рис. 1, в), після чого вноситься рідке добриво у борозну (Stichler & Livingston, 2003).



**Рис. 1. Систематизація машин та обладнання для внесення рідких добрив.**

Крім того, ці системи можуть вносити рідкі добрива безпосередньо на насінину, або ж навколо насінини на певній відстані (Plumlee & Mueller, 2021).

Наприклад, вченими Китаю було розроблено посівний комплекс, що саме відноситься до першого типу, тобто відкриває борозну диском і здатен вносити рідкі добрива в борозну перед та після насінини, для того щоб забезпечити ріст рослин після проростання (Yu et al., 2021). Схожу систему внесення рідких добрив у борозну описує (Ross, 2020). Внесення рідких добрив на ділянках, де використовують no-till, а борозну утворюють дисками описав (Baker, 2007).

Перевагою таких систем, є можливість нанесення інокулянта як безпосередньо на насінину, так і в ґрунт. Однак, недоліком є підвищена витрата рідини.

Одним із найновіших механізмів, що здатні вносити рідкі мінеральні добрива у ґрунт є так звані ін'єкційні робочі органи (Klymchuk et al., 2021; Vetokhin et al., 2021; Shustik et al., 2020; Singh et al., 2020; Nyord et al., 2008), що мають форму колеса та своєрідні «голки», або «інжектори», які на виході мають форсунки для внесення добрив у ґрунт (Рис. 2).



**Рис. 2. Вигляд ін'єкційних робочих органів у польових умовах на прикладі знаряддя «Dragon» (Radionov, 2020)**

Існує і інший ін'єкційний механізм, що вводить рідке мінеральне добриво у ґрунтовий горизонт на глибину від 50 до 100 см кожні 30 см (da Silva & Magalhães, 2019; da Silva & Magalhães, 2017). Вченими з Китаю було розроблено схожий механізм та доведено його ефективність (Zhou et al., 2019). Однак, такі агрегати не використовують із посівними комплексами, в більшості випадків їх використовують із машинами, що готують поле перед сівбою чи з технікою для догляду за посівами (Tomchuk, 2020 a; Tomchuk, 2020 b). Перевагою таких агрегатів (за теоретичного використання саме під час сівби) є те, що вони здатні забезпечити точне внесення мінерального добрива у ґрунт. А от недоліком є неможливість обробити саму насінину робочим розчином.

Іншими варіантами механізації, що могли б забезпечити проведення інокуляції під час сівби є посівні комплекси, що призначені для внесення рідких мінеральних добрив і утворюють борозну робочим органом типу «лапа культиватора». Прикладами таких агрегатів є посівні комплекси компаній Great Plains, John Deere, Horsch та інші (Lehkodukh & Lehkodukh, 2018; Aniskevych & Rosamakha, 2016; Heruk & Petrychenko, 2014). Кожен із таких посівних комплексів має свої унікальні особливості. Наприклад, фірмою Precision Planting розроблено сошник Furrow Jet та систему vApplyHD (Zubko et al., 2021), що дозволяють вносити рідкі мінеральні добрива на певну відстань вбік від насінини та під нею, а також у борозну (*Rishennia Precision Planting dlia vnesennia ridkykh dobryv*, n.d.). Тоді як посівний комплекс Fendt MOMENTUM має більш широкі опції внесення рідкого добрива, до 25 мм вглиб від насінини (*Tochnyi moment: vse shcho treba znaty pro novu sivalku Fendt MOMENTUM.*, 2020), компанія John Deere розробила посівні комплекси, що здатні вносити рідкі і гранульовані добрива під час сівби, їх використовували у своїх дослідженнях (Randall, 2004; Popescu et al., 2022; Kusi et al., 2021). У Сербії було проведено дослід з прототипом сівалки, що має схожі функції і має назву EUKU-01 (Drazic et al., 2020). Проте, дослідженнями встановлено, що для проведення інокуляції більше підійшли механізми, що здатні забезпечити виконання

технології pop-up (Alley et al., 2010; McGuire, 2014; Till, 2017). Американські вчені розробили сівалку для малих дослідних no-till ділянок, що здатна вносити рідкі мінеральні добрива в рядок за допомогою чизельних ножів (Engel et al., 2003). Схожу систему було розроблено у Пакистані, тести проводились під час сівби кукурудзи, в якості рідкого добрива використовували розведену із водою фосфорну кислоту. Система здатна забезпечити внесення 4 л рідкого добрива на гектар (Ashraf et al., 2017). Подібна система була розроблена і у Індії, але добриво вносили не в рядок, а під насінину (Sundram & Mani, 2020). Важливим є те, що прототип даної сівалки був не тільки розроблений і описаний, а ще й детально вивчені форсунки, які підбирались відповідно до необхідного дозування рідких добрив (Devram & Mani, 2020). Іншими індійськими вченими було розроблено систему, що дозволяє вносити добриво під час сівби безпосередньо в борозну (Doshi et al., 2015). В Україні теж розроблено сівалку машину, що здатна обробляти рідкими мінеральними добривами коренеплоди буряків під час їх посадки (Kostenko et al., 2019).

Перевагою таких машин при використанні їх в якості системи для інокуляції насіння, знову ж таки, є можливість нанесення робочої рідини безпосередньо на насінину. Водночас деякі системи не здатні це забезпечити, оскільки розраховані на внесення рідких добрив на деякій відстані від насінини. Тому це є недоліком, так само як і норма, що вони здатні внести у рядок, в деяких посівних комплексах є завелика. У більшості проаналізованих досліджень, необхідною нормою внесення інокулянту в рядок вважають 50 л/га.

Важливими є дослідження елементів систем, що здатні вносити рідке добриво у борозну. Так, (Sidhu et al., 2020) описав типи форсунок, а малайзійські вчені проводили дослідження із кількістю рідини, що вони можуть пропустити за певної швидкості трактора на одиницю площі (Yamin et al., 2016). Однак, важливим є не лише форсунка якою вноситься рідке добриво, а й швидкість за якої його вносять (Kasal et al., 2018) та тиск у системі, ці параметри для внесення рідких добрив досліджували (Kasal et al., 2019). Вчені із Китаю пішли далі і дослідили вплив типу форсунки (конічна чи секторальна) та кількості рідини, що вилита у рядок на якість посіву та ріст сходів кукурудзи. За їх даними при використанні секторальної форсунки якість сівби була вища, а чим більша кількість води для обприскування була використана у рядку під час сівби, тим швидше з'являлися сходи культури, при цьому зросла і кількість надземної та підземної біомаси (Wang et al., 2019). Експериментами із струменевою форсункою займались (Zheng et al., 2019). Однак, дослідженнями з визначення кількості рідини, що пропускають форсунки займались

і інші вчені (Sharda et al., 2016). У дослідженнях (Scott Tubbs et al., 2012) використовували форсунку, що створює туман, а в дослідженнях (Wilson et al., 2015) для обробки насіння інсектицидом у рядку використовували форсунки із маркуванням Teejet TP8001EVS, а (Gassmann & Weber, 2015) для тих самих цілей використовували Teejet XR80015EVS. Вченими з Китаю були проведені схожі дослідження задля створення сівалки, що здатна вносити пестициди та добрива під час сівби, ними було досліджено три типи форсунок та їх кут розпилення (Huang et al., 2019). Дослідження (Chen et al., 2021) вказують на необхідність застосування сенсорів для моніторингу кількості використання добрив, а (Bai et al., 2022) вивчали можливість підвищення точності внесення рідких добрив після зміни норми. Питанням розробки системи, що здійснює затримку внесення та дозволяє змінювати норму для рідких добрив займались (Zhang et al., 2021). При цьому, дуже важливо проводити вірне калібрування агромашин, що здійснюють внесення рідких добрив (Field & Long, 2018). Також, були проведені дослідження з визначення необхідності застосування спеціальних мікропроцесорів для точного внесення рідких добрив (Xiuyun et al., 2019), контролерів (Garcia et al., 2014; Anitha et al., 2019), або ж покращення програмного забезпечення (Jinlong et al., 2021).

Оскільки не існує чіткого механізму внесення інокулянту в рядок в деяких дослідженнях, було описано методи внесення робочої рідини в борозну шляхом приєднання обприскувача до сівалки (Morais et al., 2016; Sivarajan et al., 2018). Водночас, можна проводити обробку рідким добривом борозни за допомогою ручного обприскувача перед сівалкою (Campo et al., 2010; Oliveira et al., 2018; Glaucia et al., 2017; Grabau et al., 2021). Бразильські вчені застосовували для обробки насіння рідким добривом карбонату кальцію спеціальний аплікатор StandMax Hunter CS, що дозволяє обробити насіння в борозні під час сівби (Nascente & Cobucci, 2015), тоді як американські вчені використовували для обробки насіння в борозні інсектицидами (Boetel et al., 2004) чи рідкими добривами системи розпилення від TM Raven, що встановлені на посівному комплексі (Kaiser et al., 2014). В інших дослідженнях використовувались, навпаки, більш сучасні сошники, що вже обладнані аплікаторами для внесення рідких добрив, для прикладу, фірми Yetter Manufacturing (Rutan & Steinke, 2019).

**Висновки.** Отже, серед всіх описаних систем або аплікаторів для внесення рідких добрив чи інсектицидів, є системи, що дозволять провести інокуляцію насіння безпосередньо в борозні. Вони мають свої переваги і недоліки. Однак, немає чіткої методики проведення даної операції в польових умовах. Тому, для визначення необхідного агрегату необхідні подальші дослідження.

#### **Бібліографічні посилання:**

1. Adeleke, B.S., Ayangbenro, A.S., & Babalola, O.O. (2021). Genomic assessment of *Stenotrophomonas indicatrix* for improved sunflower plant. *Curr Genet*, 67, 891–907. <https://doi.org/10.1007/s00294-021-01199-8>
2. Alley, M. M., Reiter, S., Thomason, W. E., & Reiter, M. S. (2010). Pop-up and/or Starter Fertilizers for Corn.
3. Aniskevych, L. V., & Rosamakha, Yu. O. (2016). Konstruktyvni osoblyvosti soshnykovykh system suchasnykh sivalok ta yikh vidpovidnist vymoham tochnoho zemlerobstva [Design features of coulter systems of modern planters and their compliance with the requirements of precision agriculture]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho*

- universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Serii: Tekhnika ta enerhetyka APK, (241), 269-278 [in Ukrainian].
4. Anitha, G., Kumar, A. A., Rao, A. S., & Rao, C. S. (2019). Sensor based Planter-cum-Site Specific Fungicide Applicator. *Agricultural Engineering Today*, 43(1), 46-53.
  5. Ashraf, M., Akhtar, M., Ahmad, Q., & Ahmad, S. (2017). Development and laboratory testing of maize planter-cum-liquid fertilizer applicator. *Journal of Agricultural Research*, 55(2).
  6. Bai, J., Tian, M., & Li, J. (2022). Control System of Liquid Fertilizer Variable-Rate Fertilization Based on Beetle Antennae Search Algorithm. *Processes*, 10(2), 357. <https://doi.org/10.3390/pr10020357>
  7. Baker, C. J. (2007). No-tillage Drill and Planter Design – Large-scale Machines. In K. E. Saxton & C. J. Baker (Eds.), *No-tillage Seeding in Conservation Agriculture* (pp. 185-256). CABI.
  8. Bautista, E. U., Suministrado, D. C., & Koike, M. (2000). Mechanical Deep Placement of Fertilizer in Puddled Soils. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery*, 62(1), 146-157. <https://doi.org/10.11357/jsam1937.62.146>
  9. Berdin, S. I., Onychko, V. I., & Murach, O. M. (2013). Vplyv biolohichnykh osoblyvostei sortu na efektyvnist inokuliatcii nasinnia horokhu [Effect of biological characteristics of variety on the inoculation efficiency of pea seeds]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahromoho universytetu. Serii «Ahronomiia i biolohiia»*, 3(25), 182-187 [in Ukrainian].
  10. Boetel, M. A., Dregseth, R. J., Schroeder, A. J., Majumdar, A., & Bredehoeft, M. W. (2004). Granular, liquid, and seed treatment insecticides for management of wireworms in sugarbeet. *Sugarbeet Research and Extension Reports*, 35, 166.
  11. Campo, R. J., Araujo, R. S., Mostasso, F. L., & Hungria, M. (2010). In-furrow inoculation of soybean as alternative to fungicide and micronutrient seed treatment. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 34(4). <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000400010>
  12. Chen, K., Zhao, B., Zhou, L., Wang, L., Wang, Y., Yuan, Y., & Zheng, Y. (2021). Real-time missed seeding monitoring planter based on ring-type capacitance detection sensor. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 64(2), 279-288.
  13. da Rosa, D. P., Verardi, J., Girardi, J. S., Conte, P. H., & Spagnolo, R. T. (2020). Inoculation Methods and Doses and Relationship with the Vegetative and Reproductive Development of Soybeans. *Journal of Experimental Agriculture International*, 42(7), 124-132. <https://doi.org/10.9734/JEAI/2020/v42i730561>
  14. da Silva, M. J., & Magalhães, P.S.G. (2019). Modeling and design of an injection dosing system for site-specific management using liquid fertilizer. *Precision Agric*, 20, 649–662. <https://doi.org/10.1007/s11119-018-9602-5>
  15. da Silva, M., & Magalhaes, P. S. G. (2017). A liquid injection dosing system for site-specific fertiliser management. *Biosystems Engineering*, 163, 150-158. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.09.005>
  16. Danylchenko, O. M., Kovalenko, I. M., & Butenko, A. O. (2018). Produktivnist chyny pry vnesenni riznykh doz mineralnykh dobryv ta inokuliatcii nasinnia v umovakh pivnichno-skhidnoho Lisostepu Ukrainy [Peavine productivity by mineral fertilization of different doses and seed inoculation under the conditions of North-East Forest Steppe of Ukraine]. *Naukovi horyzonty*, 2, 29-34 [in Ukrainian].
  17. Danylchenko, O.M., & Zhatova, H. O. (2016). Urozhainist i yakist nasinnia kormovykh bobiv ta sochevytsi zalezno vid inokuliatcii bakterialnymy preparatamy i vnesennia mineralnykh dobryv [Yield and seed quality of fodder beans and lentils depending on inoculation with bacterial preparations and application of mineral fertilizers]. *Visnyk Zhytomyrskoho natsionalnoho ahroekolohichnoho universytetu*, 1(1), 94-101 [in Ukrainian].
  18. Datsko, O. M. (2021). Roslynni probiotyky: vplyv na roslyny v umovakh stressu [Plant probiotics: effect on crops under stress]. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology*, 43(1), 10-18 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32845/agrobio.2021.1.2>
  19. Denton, M. D., Phillips, L. A., Peoples, M. B., Pearce, D. J., Pearce, A. D., Mele, P. M., & Brockwell, J. (2017). Legume inoculant application methods: effects on nodulation patterns, nitrogen fixation, crop growth and yield in narrow-leaf lupin and faba bean. *Plant and Soil*, 419(1), 25-39. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-017-3317-7>
  20. Devram, L. S., & Mani, I. (2020). Design and development of pressurized aqueous fertilizer application system for seeder. *Agricultural Engineering Today*, 44(1), 12-19. <https://doi.org/10.52151/aet2020441.1514>.
  21. Doshi, T., Joshi, J., Vyas, R., & Upadhyay, P. (2015). Agritech Automation on Seeding and Fertigation: A Revolution in Agriculture. *IJSET-International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 2(11), 82-87.
  22. Dražić, M. S. (2017). *Development and optimization of novel electronic device for automatic control of liquid starter fertilizer injection in maize sowing*. [Doctoral Dissertation]. Belgrade. <https://nardus.mpn.gov.rs/handle/123456789/9370>
  23. Drazic, M., Gligorevic, K., Pajic, M., Zlatanovic, I., Spalevic, V., Sestras, P., Skataric, G., & Dudic, B. (2020). The Influence of the Application Technique and Amount of Liquid Starter Fertilizer on Corn Yield. *Agriculture*, 10(8), 347. <https://doi.org/10.3390/agriculture10080347>
  24. Engel, R. E., Fische, T., Miller, J., & Jackson, G. (2003). A small plot seeder and fertilizer applicator. *Agronomy Journal*, 95(5), 1337-1341. <https://doi.org/10.2134/agronj2003.1337>
  25. Field, H. L., & Long, J. M. (2018). Machinery Calibration. In *Introduction to Agricultural Engineering Technology: A Problem Solving Approach* (pp. 107-142). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-69679-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-69679-9_8)
  26. Garcia, A. P., Cappelli, N. L., & Umez, C. K. (2014). Electrically driven fertilizer applicator controlled by fuzzy logic. *Eng. Agric*, 34(3). <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000300014>
  27. Gassmann, A., & Weber, P. (2015). Evaluation of Bt Corn and Soil-applied Insecticides for Management of Corn Rootworm Larvae. *Iowa State University Research and Demonstration Farms Progress Reports*, 1(1), Iowa State University Research and Demonstration Farms Progress Reports.
  28. Glaucia, C. F., Alessandro, L. B., Fernanda, B. G. A., & Lucas, C. P. (2017). Effects of associated co-inoculation of Bradyrhizobium japonicum with Azospirillum brasilense on soybean yield and growth. *African Journal of Agricultural Research*, 12(1), 6-11. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.1171>

29. Grabau, Z. J., Liu, C., Schumacher, L. A., Small, I. M., & Wright, D. L. (2021). In-furrow fluopyram nematicide efficacy for *Rotylenchulus reniformis* management in cotton production. *Crop Protection*, 140, Crop Protection. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105423>
30. Grabovskiy, M. B. (2018). Substantiation of the corn sowing terms in compatible crops with sweet sorghum. *Agrobiologia*, 1(138), 67-76.
31. He, H., Peng, M., Lu, W., Hou, Z., & Li, J. (2022). Commercial organic fertilizer substitution increases wheat yield by improving soil quality. *Science of The Total Environment*, 851, 158132. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158132>
32. Heruk, S. M., & Petrychenko, Ye. A. (2014). Tendentsii rozvytku konstruksii posivnykh ahrehtiv. *Tekhnichnyi servis ahropromyslovoho, lisovoho ta transportnoho kompleksiv*, (1), 31-45 [in Ukrainian].
33. Huang, X., Wang, W. W., Li, Z. D., Wang, Q. Q., Zhu, C. X., & Chen, L. Q. (2019). Design method and experiment of machinery for combined application of seed, fertilizer and herbicide. *Int J Agric & Biol Eng*, 12(4), 63-71.
34. Ibrahim, H.M., & El-Sawah, A.M. (2022). The Mode of Integration Between Azotobacter and Rhizobium Afect Plant Growth, Yield, and Physiological Responses of Pea (*Pisum sativum* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s42729-021-00727-2>
35. Jinlong, F., Shujuan, Y., & Qichao, L. (2021). Design of deep-fertilization mechanism with deformed gears and performance tests. *NMATEH-Agricultural Engineering*, 65(3). <https://doi.org/10.35633/inmateh-65-34>
36. Jordan, D. L., Johnson, P. D., Hare, A. T., Anco, D., Chapin, J., Thomas, J., Monfort, S., & Balota, M. (2018). Influence of Inoculation with Bradyrhizobia and Nitrogen Rate on Yield and Estimated Economic Return of Virginia Market Type Peanut. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 4(1), 1-7. <https://doi.org/10.2134/cftm2018.01.0002>
37. Kaiser, D. E., Lamb, J. A., Bloom, P. R., & Hernandez, J. A. (2014). Comparison of field management strategies for preventing iron deficiency chlorosis in soybean. *Agronomy Journal*, 106(6), 1963-1974. <https://doi.org/10.2134/agronj13.0296>
38. Kalnahuz, O. M., Semernia, O. V., & Lomekin, D. S. (2021). Sposoby vnesennia dobriv [Fertilizer application methods]. *Materialy Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii «Molod i tekhnichniy prohres v APV» Innovatsiini rozrobky v ahrarnii sferi*. 2, 120-122 [in Ukrainian].
39. Kasal, Y. G., Gore, A., Shete, P. P., & Thakkar, M. (2018). Effect of travel speed of tractor on rate of application in liquid fertilizer application system. *Plant Archives*, 18(1), 987-990.
40. Kasal, Y. G., Thakare, S. K., & Shete, P. P. (2019). Effect of pressure attribute on rate of application in liquid fertilizer application system. *Plant cell biotechnology and molecular biology*, 20(1-2), 67-72.
41. Klymchuk, M., Salo, Ya., Dumych, V., & Vetokhin, V. (2021). Alternatyvni tekhnichni zasoby dlia vnesennia ridkykh dobriv v shar gruntu [Alternative technical means for applying liquid fertilizers to the soil layer]. *Naukovo-tekhnicni zasady rozroblennia, vyprovuvannia ta prohnozuvannia silskohospodarskoi tekhniki i tekhnolohii Materialy XXI Mizhnarodnoi naukovoi konferentsii 22 veresnia 2021 roku*, 76-80 [in Ukrainian].
42. Kostenko, O., Lapenko, H., Prasolov, Y., Lapenko, T., & Kalinichenko, A. (2019). Increasing the effectiveness of aggregates for planting sugar beet seedlings to receive elite seeds. *Agronomy Research*, 17(4), 1649-1664. <https://doi.org/10.15159/ar.19.194>
43. Kotenko, S.S., & Ratushnyi, V.V. (2017). Tekhnichni zasoby dlia mekhanizovanoi obroby nasinnia biopreparatamy [Technical means for mechanized processing of seeds with biological preparations]. *Materialy III Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii (u ramkakh II naukovoho forumu «Naukovy tyzhden u Krutakh – 2017», 13-14 bereznia 2017 r., s. Kruty, Chernihivska obl.)*, 1, 162-170 [in Ukrainian].
44. Kumawat, K. C., Singh, I., Nagpal, S., Sharma, P., Gupta, R.K., & Sirari, A. (2022). Co-inoculation of indigenous *Pseudomonas oryzae* and *Bradyrhizobium* sp. modulates the growth, symbiotic efficacy, nutrient acquisition, and grain yield of soybean. *Pedosphere*, 32(3), 438-451. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(21\)60085-1](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(21)60085-1)
45. Kusale, S.P., Attar, Y. C., Sayyed, R.Z., Enshasy, H.E., Hanapi, S.Z., Ilyas, N., Elgorban, A.M., Bahkali, A.H., & Marraiki, N. (2021). Inoculation of *Klebsiella variicola* alleviated salt stress and improved growth and nutrients in wheat and maize. *Agronomy*, 11(5), 927. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050927>
46. Kusi, N. Y. O., Stevens, W. B., Sintim, H. Y., y Garcia, A. G., & Mesbah, A. O. (2021). Phosphorus fertilization and enhanced efficiency products effects on sugarbeet. *Industrial Crops and Products*, 171, 113887. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113887>
47. Kyveryga, P. M., Mueller, T. A., & Mueller, D. S. (2018). On-farm replicated strip trials. *Precision agriculture basics*, 198-207. <https://doi.org/10.2134/precisionagbasics.2016.0096>
48. Lehkodukh, I., & Lehkodukh, H. (2018). Vnesennia dobriv posivnymy ta gruntoobrobnymy mashynamy [Application of fertilizers by sowing and tillage machines]. *Tekhnika i tekhnolohii APK*, 2(110), 33-37 [in Ukrainian].
49. Manea, D., Marin, E., Sorică, C., & Nedelcu, A. (2009). Mechanized Application of the Microbial Inoculants at Vegetable Plants Sowing. *Bulletin UASMV Agriculture*, 66(1), 381-386.
50. McGuire, A. (2014). High residue farming under irrigation: residue management through planting.
51. Mehboob, N., Minhas, W.A., Naeem, M., Yasir, T.A., Naveed, M., Farooq, S., & Hussain, M. (2022). Seed priming with boron and *Bacillus* sp. MN54 inoculation improves productivity and grain boron concentration of chickpea. *Crop and Pasture Science*, 73(5), 494-502. <https://doi.org/10.1071/CP21377>
52. Semernia, O. V., & Kalnahuz, O. M. (2016). Shchodo vnesennia ridkykh mineralnykh dobriv [Regarding the introduction of liquid mineral fertilizers]. *Materialy mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii-forumu «Rozumna ahrotekhnika dlia efektyvnoho zemlerobstva»*, 39 [in Ukrainian].

53. Mockeviciene, I., Repsiene, R., Amaleviciute-Volunge, K., Karcauskiene, D., Slepeticene, A., & Lepane, V. (2022). Effect of long-term application of organic fertilizers on improving organic matter quality in acid soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 68(9), 1192-1204. <https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1875130>
54. Morais, T. P. D., Brito, C. H. D., Brandão, A. M., & Rezende, W. S. (2016). Inoculation of maize with *Azospirillum brasilense* in the seed furrow. *Revista Ciência Agronômica*, 47, 290-298. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20160034>
55. Nascente, A. S., & Cobucci, T. (2015). Soil phosphorus availability and dry bean yield as affected by the application of liquid calcium carbonate micron particles on the furrow. *Afr. J. Agric. Res.*, 10(15), 1840-1851. <https://doi.org/10.5897/AJAR2014.8694>
56. Nyord, T., Sogaard, H. T., Hansen, M. N., & Jensen, L. S. (2008). Injection methods to reduce ammonia emission from volatile liquid fertilisers applied to growing crops. *Biosystems Engineering*, 100(2), 235-244. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.01.013>
57. Oliveira, D. P., Pereira, T. D. A., Rufini, M., Martins, F. A. D., da Silva Junior, C. L., Baptista, M. V. B. D. G., da Silva, J. S., de Oliveira, P. A. C., da Silva Aragão, S. O., de Andrade, M. J. B., & de Souza Moreira, F. M. (2019). Liquid Inoculation with *Rhizobia* in the Planting Furrow of Common Bean under No-Till Is Feasible under Different Soil and Climatic Conditions. *Crop Science*, 59(5), 2178-2184. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.08.0522>
58. Oliveira, D. P., Soares, B. L., Martins, F. A. D., Franceschini, L. A., Cardillo, B. E. D. S., Rufini, M., de Morais, A. R., de Souza Moreira, F. M., & de Andrade, M. J. B. (2018). Viability of liquid medium-inoculation of *Rhizobium etli* in planting furrows with common bean. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53, 394-398. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000300015>
59. Ovcharuk, O. V., Kalenska, S. M., Ovcharuk, O. V., & Khomina, V. Y. (2020). Biological fixation of nitrogen by agrocenoses of soy and application of inoculants. *Current state of science in agriculture and environmental management: theory and practice (November 20, 2020)*, 132-135.
60. Palgrave, D. A. (Ed.). (2020). *Fluid Fertilizer Science and Technology*. Taylor & Francis Group.
61. Pierson, W. L., Kandel, Y. R., Allen, T. W., Faske, T. R., Tenuta, A. U., Wise, K. A., & Mueller, D. S. (2018). Soybean Yield Response to In-furrow Fungicides, Fertilizers, and Their Combinations. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 4(1), 1-9. <https://doi.org/10.2134/cftm2017.10.0073>
62. Plumblee, M. T., & Mueller, J. D. (2021). Implementing precision agriculture concepts and technologies into crop production and site-specific management of nematodes. In R. A. Sikora, J. Desaegeer, & L. Molendijk (Eds.), *Integrated Nematode Management: State-of-the-art and Visions for the Future* (pp. 421-427). CAB International. <https://doi.org/10.1079/9781789247541.0059>
63. Popescu, E., Nenciu, F., & Vladut, V. (2022). A new strategic approach used for the regeneration of soil fertility, in order to improve the productivity in ecological systems. *Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*, 11, 265-272.
64. Qiao, D., Li, N., Cao, L., Zhang, D., Zheng, Y., & Xu, T. (2022). How Agricultural Extension Services Improve Farmers' Organic Fertilizer Use in China? The Perspective of Neighborhood Effect and Ecological Cognition. *Sustainability*, 14(12), 7166. <https://doi.org/10.3390/su14127166>
65. Radionov, D. (2020, October 23). Dragon – rishennia dlia ratsionalnoho vnesennia dobryv [Dragon is a solution for rational application of fertilizers] – Ahrobiznes sohodni [in Ukrainian]. <http://agro-business.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/19148-dragon-ishennia-dlia-ratsionalnoho-vnesennia-dobryv.html>
66. Randall, G. (2004). Optimum phosphorus placement for reduced tillage systems. In *Proceedings of the Wisconsin Fertilizer, Aglime and Pest Management Conference*, 43, 10.
67. Rezende, W. S., Brandão, A. M., Brito, C. H. D., & Morais, T. P. D. (2016). inoculation of maize with *Azospirillum brasilense* in the seed furrow. *Revista Ciência Agronômica*, 47(2), 290-298. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20160034>
68. *Rishennia Precision Planting dlia vnesennia ridkykh dobryv [Precision Planting solutions for applying liquid fertilizers]. (n.d.). Amako [in Ukrainian].* <https://amaco.int.com/ua/selhoztehnika/liquid-fertilizers/>
69. Ross, P. (2020). Reviving GrubPlan to ensure appropriate use and application of imidacloprid for control of cane grubs.
70. Rutan, J., & Steinke, K. (2019). Corn nitrogen management following daikon radish and forage oat cover crops. *Soil Science Society of America Journal*, 83(1), 181-189. <https://doi.org/10.2136/sssaj2018.07.0269>
71. Sahu, P. K., Gupta, A., Singh, M., Mehrotra, P., & Brahmaprakash, G. P. (2018). Bioformulation and Fluid Bed Drying: A New Approach Towards an Improved Biofertilizer Formulation. In R. S. Sengar & A. Singh (Eds.), *Eco-friendly Agro-biological Techniques for Enhancing Crop Productivity*. Springer Nature Singapore. 10.1007/978-981-10-6934-5\_3
72. Schiffmann, J., & Alper, Y. (1968). Inoculation of peanuts by application of *Rhizobium* suspension into the planting furrows. *Experimental Agriculture*, 4(3), 219-226.
73. Scott Tubbs, R., Harris, G. H., Beasley, J. P., Smith, A. R., & Smith, N. B. (2012). Effect of inoculant and nitrogen application at planting on peanut production in Georgia. *Crop Management*, 11(1), 1-11. <https://doi.org/10.1094/CM-2012-0823-01-RS>
74. Sharda, A., Fulton, J. P., & Taylor, R. K. (2016). Performance of variable-orifice nozzles for liquid fertilizer applications. *Applied Engineering in Agriculture*, 32(3), 347-352. <https://doi.org/10.13031/aea.32.11428>
75. Shustik, L., Nilova, N., Stepchenko, S., Sydorenko, S., & Klochai, O. (2020). Doslidzhennia efektyvnosti zastosuvannia aplikatora DRAGON 6000 dlia vnesennia ridkykh dobryv KAS u resursooshchadnykh tekhnolohiiakh [Study of the effectiveness of the applicator dragon6000 for application of liquid CAS fertilizers in resource-saving technology]. *Tekhniko-tekhnolohichni aspekty rozvytku ta vyprovuvannia novoi tekhniki i tekhnolohii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy*, 27(41), 268-279 [in Ukrainian].

76. Sidhu, Y.-S., Singh, H. S., Jat, M., Chhokar, H. S., Setia, R. S., R., & Jat, M. L. (2020). *Conservation agriculture and scale of appropriate agricultural mechanization in smallholder systems. Manual*. Borlaug Institute for South Asia (BISA), International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT).
77. Singh, S. P., Kumar, A., & Kushwaha, H. L. (2020). Sugar cane Canopy Spraying: A Perspective Solution with Ergonomics and Mechatronics Approach. *Sugar Tech*, 22, 203–207. <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00766-1>
78. Sivarajan, S., Maharlooei, M., Bajwa, S. G., & Nowatzki, J. (2018). Impact of soil compaction due to wheel traffic on corn and soybean growth, development and yield. *Soil and Tillage Research*, 175, 234-243. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.09.001>
79. Stichler, C., & Livingston, S. (2003). Reduced/Conservation Tillage in South and Central Texas. *Texas FARMER Collection*. <https://hdl.handle.net/1969.1/87182>.
80. Sundaram, P. K., Mani, I. D., Lande, S. A. T. I. S. H., Parray, R. A., & Khura, T. K. (2019). Design and Development of Fertilizer Metering System for Tractor drawn Liquid Fertilizer Applicator: Interaction of Root and microbes. *Journal of AgriSearch*, 6(4), 211-214.
81. Sundram, P. K., & Mani, I. (2020). Development of Liquid Fertilizer Applicator. *Journal of AgriSearch*, 5(4), 291-293.
82. Till, S. (2017). *A cost-effective approach for combining nematicides, starter fertilizers, and plant growth regulators in order to create a sustainable management system for the southern root-knot nematode, Meloidogyne incognita, in corn*.
83. Tkachuk, A. P. (2014). Seed inoculation as an important ecological factor in increasing productivity of galega vegetative mass. *Feeds and Feed Production*, (77), 85-88.
84. *Tochnyi moment: vse shcho treba znaty pro novu sivalku Fendt MOMENTUM. (2020, July 28). Kurkul [in Ukrainian].* <https://kurkul.com/spetsproekty/843-tochniy-momentum-vsi-harakteristiki-novoyi-sivalki-fendt-yaki-treba-znati-persh-nij-kupiti>
85. Tomchuk, V. (2020 b). Trends of plant fertilization under new production conditions. *Slovak international scientific journal*, 1, 7-17.
86. Tomchuk, V.V. (2020 a). Praktychni aspekty vykorystannia znariaddia z holchastymy inzhektsiynymy robochymy orhanamy dlia zhyvlennia roslyn [Practical aspects of using tools with bristle injection working bodies for plant nutrition]. *Mizhnar. nauk. konf. «Naukovo-tekhnichni zasady rozrobky, vyprobuvannia ta prohnozuvannia silskohospodarskoi tekhniki i tekhnolohii», 13 veres. 2019 r.-Doslidnytske*, 69-70 [in Ukrainian].
87. Trimurtulu, N., Rao, D. L. N., Trimurtulu, N., & Amaravathi, G. (2014). Liquid microbial inoculants and their efficacy on field crops, ANGRAU. *Agricultural Research Station, Amaravathi*, 54.
88. Tubbs, R. S., Kemerait, R. C., Williams, B., & Sarver, J. M. (2015). Effect of Bradyrhizobia inoculant formulation with phorate in new peanut fields. *Peanut Science*, 42(2), 138-144.
89. Vetokhin, V., Nehrebetskyi, I., Ryzhkova, T., Salo, Ya., & Vozniuk, T. (2021). Analitichnyi ohliad tekhnichnykh rishen holchastykh rotatsiynykh znariad dlia vnesennia ridkykh dobryv u shar gruntu [Analytical review of technical solutions of needle rotary tools for applying liquid fertilizers to the soil layer]. *Tekhniko-tekhnologichni aspekty rozvytku ta vyprobuvannia novoi tekhniki i tekhnolohii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy*, 29(43), 95-107 [in Ukrainian]. [http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2021-1-29\(43\)-9](http://dx.doi.org/10.31473/2305-5987-2021-1-29(43)-9)
90. Wang, W., Wang, W., Jia, H., Zhuang, J., & Wang, Q. (2019). Effects of seed furrow liquid spraying device on sowing quality and seedling growth of maize. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 12(2), 68-74.
91. Welver, M. (2019). Efficiency of chickpea seed bacterization. *Agrarian science and education in the european integration context*, 68-72.
92. Wilson, R. G., Orloff, S. B., & Taylor, A. G. (2015). Evaluation of insecticides and application methods to protect onions from onion maggot, *Delia antiqua*, and seedcorn maggot, *Delia platura*, damage. *Crop Protection*, 67, 102-108. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2014.10.002>
93. Xiuyun, X., Xufeng, X., Zelong, Z., Bin, Z., Shuran, S., Zhen, L., Tiansheng, H., & Huixian, H. (2019). Variable Rate Liquid Fertilizer Applicator for Deep-fertilization in Precision Farming Based on ZigBee Technology. *IFAC-PapersOnLine*, 52(30), 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.487>
94. Yamin, M., Wan Ismail, W. I., Mohd Kassim, M. S., Abd Aziz, S., & Shamshiri, R. (2016). VRT liquid fertilizer applicator for soil nutrient management. *Jurnal Teknologi*, 78(1-2), 73-78. <https://doi.org/10.11113/jt.v78.7271>
95. Yu, C., Wang, Q., Cao, X., Wang, X., Jiang, S., & Gong, S. (2021). Development and Performance Evaluation of a Precise Application System for Liquid Starter Fertilizer while Sowing Maize. In: *Actuators. Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 10(9), 221. <https://doi.org/10.3390/act10090221>
96. Zhang, J., Liu, G., Huang, J., & Zhang, Y. (2021). A Study on the Time Lag and Compensation of a Variable-Rate Fertilizer Applicator. *Applied Engineering in Agriculture*, 37(1), 43-52. <https://doi.org/10.13031/aea.13855>
97. Zheng, W., Jiang, Y., Ma, X., & Qi, Q. (2019). Development of a liquid-jet nozzle for fertilizer injection in paddy fields using CFD. *Computers and Electronics in Agriculture*, 167, 105061. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105061>
98. Zhou, W., Wang, J., & Tang, H. (2019). Structure optimization of cam executive component and analysis of precisely applying deep-fertilization liquid fertilizer. *Int J Agric & Biol Eng*, 12(4), 104-109. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191204.4865>
99. Zubko, V. M. (2021). Doslidzhennia vplyvu chystoty posivnoi borozny na vrozhainist pry vyroshchuvanni kukurudzy na zerno [Study of the influence of the purity of the sowing furrow on the yield in cultivation of maize on grain]. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Mechanization and Automation of Production Processes*, 4(46), 11-17 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.4.2>

100. Zubko, V. M., Khvorost, T. V., & Litvinenko, Y. Y. (2021). Doslidzhennia efektyvnosti vykorystannia systemy smart firmer za vyroshchuvannia kukurudzy na zerno [Research of efficiency of using the smartfirmer system in growing corn on grain]. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Mechanization and Automation of Production Processes*, 3(45), 18-23 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.3.3>

**Shelest M. S.**, Candidate for Higher Education of Doctor of Philosophy, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

**Modern systems of inoculation of seed material of row crops**

*Inoculation of seed material is quite often studied by scientists from the point of view of the influence of the process on the development of culture. However, there is very little information on ensuring the technological operation of wet seed inoculation itself. At the same time, the inoculation process is mainly provided by outdated means of mechanization. Although inoculation is quite often used in Ukraine when growing legumes, the process of treating seeds with inoculants has not yet been optimized. Most often, for carrying out a technological operation, seed treatment units are used, which requires not only large energy costs, but also the involvement of a large number of workers. Therefore, the purpose of this study was to study agricultural machines capable of carrying out inoculation precisely during the sowing of crops to ensure compliance with agricultural requirements and increase the energy efficiency of agricultural enterprises. In the analysis of literary sources, three systems were identified and analyzed that could theoretically meet the requirements of driving operators and agronomists during inoculation. Among them are systems that open the furrow with a disc or cultivator and injector systems. For each of them, the advantages and disadvantages of their operation as a system for inoculation have been identified. The most suitable means for inoculation, which can meet the needs of agricultural producers, were determined to be the special StandMax Hunter CS applicator and the spraying systems from TM Raven, which are installed on sowing complexes and used by foreign agricultural producers. Also, the article highlights the features of the systems and components used in them. Among them are the types of nozzles that can be used in inoculation systems; sensors to monitor liquid spillage; microprocessors and software are also integral components. However, during the search and analysis of literature sources, no methodology and recommendations were found for applying inoculants to the soil during sowing, so this topic deserves further, more detailed research.*

**Key words:** grain, sowing, seeder, seeding device, quality.