



Original researches

Influence of Agrotechnical Methods on Yield Formation and Quality of Seeds of Oil-Bearing Flax

Received: 23 November 2018
Revised: 28 November 2018
Accepted: 30 November 2018

O. L. Rudik
Kherson State Agrarian University, Kherson, Ukraine

Kherson State Agrarian University,
Stretenskaya Str., 23, Kherson, 73006, Ukraine

Tel.: +38-050-648-38-45
E-mail: oleksandr.rudik@gmail.com

Cite this article: Rudik, O. L. (2019). Influence of agrotechnical methods on yield formation and quality of seeds of oil-bearing flax. *Agrology*, 2(1), 3–9.
doi: 10.32819/2617-6106.2018.14011

Abstract. In the field experiments, it was established that the increase of seeding rate significantly raised the density of plant stand per unit area under crops, which stepped up the competition for factors of life. A gradual decrease in field germination rate was recorded in accordance with the increase of seeding rate, and the difference between the extreme seeding rates was 3.6 percentage points for early timing of sowing, 2.3 – for the average timing and 0.8 for the late timing of sowing. Changing the timing of sowing and crowdedness of crops determined the formation of plants of different architectonics and productivity. The plants sown in the middle timing of sowing formed the largest number of pods. On average, by the factor the number of pods was more by 3.8% than in early sowing and more by 7.3% than at the late one. As a result of an increase in seeding rates from 4 to 12 million pieces per hectare, the number of pods decreased by 2.67 times in early sowing, 2.6 times in the middle and 2.59 times in the late sowing. In most cases, the transfer of the sowing timing led to decrease in the number of seeds in one pod. Late sowing also led to a slight decrease in the mass of 1000 seeds, however, at a reliable level, these differences are only observed between early and late timing of sowings. Increasing the seeding rate from 4 to 6 million pieces per hectare was accompanied by an increase in the mass of 1000 seeds, which is possibly connected with the formation of them at the expense of pods of the basal branching shoots. On average, over the years of research, irrespective of the seeding rate, the yield of seeds was significantly higher for the sowing of culture when the soil reached a state of physical mellowness. The translocation of the sowing timing on average for ten and twenty days was accompanied by a decrease in seed yield by 0.02 and 0.18 t/ha, respectively. The values of yield of flax were the closest in the early and middle timings of sowing, whereas at the late timing of sowing the difference was the highest. The most intensive increase of the yield was observed with increasing of seeding rates from 4 to 6 million pcs/ha. In the sequel, the differences between the variants 8 and 10 million pcs/ha at early timing of sowing, 6 and 8 million pcs/ha at middle and late timing of sowing were within the range of the experimental error or were close. Under the influence of the investigated factors, the yield of straw varied from 1.24 to 1.79 t/ha. Sowing of oil-bearing flax at early timing provided a higher yield of straw, an average of 1.74 t/ha. Conducting of sowing in the late timing was accompanied by decrease in the content of the bast tissue.

Keywords: flax; seeding rate; plant density; field germination rate; survival rate; yield structure.

Вплив агрозаходів на формування врожаю та якість насіння льону олійного

О. Л. Рудік
Херсонський державний аграрний університет, м. Херсон, Україна

Польовими дослідженнями доведено, що зростання норми висіву льону олійного істотно підвищувало щільність стеблостою на одиниці посівної площі та посилювало конкуренцію за фактори життя. Зафіксовано поступове зменшення польової схожості відповідно до зростання норми висіву, а різниця між варіантами крайніх норм висіву становила 3,6 відсоткового пункту для ранньої сівби, 2,3 – для середнього строку та 0,8 – для пізнього. Зміна часу сівби та загущення посівів визначили формування рослин різної архітектоніки та продуктивності. Найбільшу кількість коробочок формували рослини, висіяні в середній строк. У середньому по фактору їх було на 3,8% більше, ніж за ранньої сівби, та на 7,3% більше, ніж за пізньої. Унаслідок збільшення норми висіву з 4 до 12 млн шт./га кількість коробочок зменшилася в 2,67 раза за ранніх строків сівби, у 2,6 раза за середніх та 2,59 раза – за пізніх строків. У більшості випадків перенесення строку сівби призводило до зменшення кількості насіння в одній коробочці. Запізнення зі сівбою також дещо зменшувало масу 1000 насінин, однак на достовірному рівні ці відмінності проявлялися лише між рослинами раннього та пізнього строків сівби. Підвищення норми висіву із 4 до 6 млн шт./га супроводжувалося збільшенням маси 1000 насінин, що, можливо, пов'язано із формуванням їх за рахунок коробочок пагонів базального галушення. У середньому

за роки досліджень, незалежно від норми висіву, достовірно вищим був урожай насіння за сівби культури по досягненні ґрунтом стану фізичної стиглості. Зміщення строку сівби на 10 та 20 днів у середньому супроводжувалося зниженням урожайності насіння на 0,02 та 0,18 т/га, відповідно. Найбільш близькими були значення врожайності льону за раннього та середнього строків, тоді як за пізнього строку сівби різниця набувала найбільших значень. Найбільш інтенсивно зростала врожайність у разі підвищення норми висіву від 4 до 6 млн шт./га. У подальшому відмінності варіантів 8 та 10 млн шт./га в ранню сівбу, 6 та 8 млн шт./га в середній та пізні строки сівби були в межах похибки дослідів або близькими. Під впливом досліджуваних факторів урожайність соломи коливалася від 1,24 до 1,79 т/га. Сівба льону олійного в ранні строки забезпечувала вищу врожайність соломи, у середньому 1,74 т/га. Проведення сівби в пізні строки зумовило зменшення вмісту лубу.

Ключові слова: льон; норма висіву; густина стояння рослин; польова схожість; виживання; структура врожаю.

Вступ

Льон належить до давніх сільськогосподарських культур, причому в історичному аспекті основне його використання було промисловим – виробництво фарб, лаків, текстилю з волокна тощо. Проте останнім часом спостерігається відроджений інтерес до продукції льону, що пов'язано з розширенням діапазону використання льняної продукції для виготовлення олії, лікарських засобів, застосування в переробній промисловості тощо (Kulmaabe et al., 2014; Lalaleo, Alcazar, et al., 2018). Насіння льону має високий вміст незамінних жирних кислот, включає найважливіші жирні кислоти – омега-6 та омега-3, які дуже необхідні для нормалізації здоров'я людини. Ці кислоти становлять понад 50% від загального вмісту жирних кислот (Lalaleo, Testillano, et al., 2018). Омега-3 жирні кислоти ефективні під час лікування захворювань серця, артритів, запальних і аутоімунних захворювань, а також раку (Lloyd & Walker, 2011). Льняне волокно стає більш популярним в автомобільній і будівельній галузях, зокрема для виготовлення вторинного композитного матеріалу (Zahir et al., 2018). Льон з агрономічної точки зору здатний адаптуватися до локальних умов і формувати високі і якісні врожаї за негативного впливу природних чинників (Leóna et al., 2003; Quéro et al., 2014).

Визначення строків сівби льону має чимале значення, оскільки наперед встановлює ступінь відповідності змінних у часі теплого та водного режимів, освітленості вимогам виду (Schmidt et al., 2010; Sheidai et al., 2014). У підсумку спостерігаються коливання як величини врожаю, так і якості продукції. Рослини розвиваються тільки в тому випадку, якщо середня температура повітря досягає межі біологічного мінімуму (біологічного нуля). За агрометеорологічною класифікацією біологічний мінімум для льону близький до значень групи холодостійких рослин (пшениця, жито, овес, ячмінь та ін.) і становить +5 °C, однак він змінюється протягом вегетації, а тому в подальших фазах буде вищим. Величина врожаю визначається індивідуальною продуктивністю рослин та їх зосередженістю на одиниці площі, між якими існує переважно обернена залежність (Schmidt et al., 2012).

Метою досліджень було дослідити вплив строків сівби та щільності стеблостою на формування врожаю та якість насіння льону олійного за вирощування в умовах Півдня України.

Матеріал і методи досліджень

Роботи проведено у 2009–2013 рр. згідно з вимогами дослідної справи (Ushkarenko et al., 2008) та спеціальних методик у польовому досліді Асканійської ДСДС Інституту зрошувального землеробства НААН України (Каховський район Херсонської області). Вивчали динаміку формування продуктивності, якості насіння та соломи відповідно до строків сівби (фактор А): ранній (настання фізичної стиглості ґрунту); середній (через 10 днів); пізній (через 20 днів). За таких строків сівби вивчали п'ять градацій норм висіву (фактор В): 4; 6; 8; 10; 12 млн шт./га. Площа ділянок четвертого порядку становила 90 м² з чотириразовим повторенням; розташування ділянок методом розщеплених блоків. Облік густоти рослин та фенологічні спостереження проводили у двох несуміжних повтореннях

на зафіксованих ділянках площею 1 м². Агротехніка в досліді, за винятком факторів, що підлягали вивченню, була загально визнаною для вирощування льону олійного в зоні Сухого Степу. Культуру розміщували в зернових ланках польової та зрошуваної сівозміни після озимої пшениці. Сівбу, відповідно до схеми дослідів, здійснювали сівалкою Клен–6. На зрошуваних ділянках для поливу дощуванням застосовували установку фронтального типу Zematik поливною нормою 400 м³/га. Підтримували вологість ґрунту в шарі 0,7 м на рівні 65–70% від НВ. Збирання врожаю проводили загальним обмолотом облікової ділянки комбайном Сампо 130.

Результати

Польовими дослідями доведено, що сівба льону олійного в ранні строки забезпечує кращі умови для появи сходів, росту й розвитку рослин. Їх кількість на одиниці площі була вищою порівняно з рослинами на ділянках пізнього висіву. Підвищення норми висіву значно нарощувало скупченість рослин на одиниці площі, що посилювало конкуренцію їх за фактори життя. Польова схожість коливалася від 82,6 до 74,1% (табл. 1). Спостерігалось зниження показника в середньому на 2,4 пункту в разі зміщення строку сівби на 10 днів та на 6,4% – за сівби через 20 днів, що пояснюється кращими умовами вологозабезпечення в період ранньої сівби. В усі строки сівби відбувалося поступове зниження польової схожості відповідно до зростання норми висіву, а різниця між варіантами крайніх норм висіву становила 3,6 відсоткового пункту для ранньої сівби, 2,3 – для середнього строку та 0,8 – для пізнього.

Унаслідок зміщення строків сівби та загушення частка рослин, що вижили, неістотно зменшувалася – у середньому за факторами на 0,8–1,2%. Підвищення норми висіву від 4 до 8 млн шт./га проявляло менший вплив, ніж подальше зростання норми висіву до 12 млн шт./га. Більший вплив на виживання рослин мало загушення посівів, ніж строк сівби.

У льону олійного проявляється біологічно зумовлена властивість формувати врожайність насіння однакового рівня за різних норм висіву. Багаторівнева структура формування величини врожаю динамічно залежить від умов вирощування та спрямована на досягнення найвищої насінневої продуктивності за фактично наявних ресурсів. Цим можна пояснити відносно широкий діапазон рекомендованих норм висіву, що представлено в науковій літературі (Vasilev & Ionkova, 2005), та великий діапазон коливання кількості продуктивних пагонів, коробочок, насіння та інших показників.

Зміна часу сівби та загушення умов росту й розвитку зумовили формування рослин різної архітекτονіки та продуктивності. Найбільшу кількість коробочок формували рослини, висіяні в середній строк. У середньому по фактору їх було на 3,8% більше, ніж за ранньої сівби, та на 7,3% більше, ніж у пізні строки. Однак найбільш суттєво на процес формування коробочок впливало загушення посівів. Підвищення норми висіву із 4 до 12 млн шт./га зменшило їх кількість в 2,67 раза за ранньої сівби, у 2,6 раза – за середньої та в 2,59 раза – за пізньої. У більшості випадків перенесення строку сівби призводило

Таблиця 1. Формування структури стеблостою льону олійного за різних строків сівби та норми висіву (середнє за 2009–2013 рр.)

Строк сівби (фактор А)	Норма висіву, млн шт./га (фактор В)	Густота, шт./м ²		Польова схожість, %	Вживання, %
		повні сходи	перед збиранням		
Ранній (настання фізичної стиглості ґрунту)	4	331	316	82,6	95,6
	6	493	471	82,2	95,6
	8	649	619	81,1	95,5
	10	798	757	79,8	94,9
	12	948	895	79,0	94,4
Середній (через 10 днів)	4	317	302	79,2	95,4
	6	479	457	79,8	95,4
	8	630	603	78,7	95,7
	10	782	744	78,2	95,1
	12	923	876	76,9	94,9
Пізній (через 20 днів)	4	299	283	74,9	94,7
	6	451	429	75,2	95,1
	8	594	563	74,2	94,9
	10	743	700	74,3	94,2
	12	889	833	74,1	93,8
НР ₀₅	А	9,7–12,3	11,5–15,9		
	В	12,5–15,8	14,9–20,5		
	АВ	21,7–27,4	25,7–35,6		

Таблиця 2. Елементи структури врожаю льону олійного за різних строків сівби та норм висіву (середнє за 2009–2013 рр.)

Строк сівби (фактор А)	Норма висіву, млн шт./га (фактор В)	Кількість, шт.		Маса, г	
		коробочок на рослині	насінин у коробочці	1000 насінин	насіння із однієї рослини
Ранній (настання фізичної стиглості ґрунту)	4	7,98	7,39	6,86	0,40
	6	5,78	7,35	6,97	0,30
	8	4,23	7,14	6,91	0,21
	10	3,54	6,85	6,83	0,17
	12	2,99	6,60	6,90	0,14
Середній (через 10 днів)	4	8,19	7,44	6,73	0,41
	6	5,91	7,37	6,84	0,30
	8	4,57	7,08	6,86	0,22
	10	3,66	6,75	6,88	0,17
	12	3,15	6,46	6,82	0,14
Пізній (через 20 днів)	4	7,50	7,47	6,65	0,37
	6	5,34	7,33	6,78	0,27
	8	4,38	7,03	6,72	0,21
	10	3,49	6,66	6,72	0,16
	12	2,90	6,41	6,74	0,13
НР ₀₅	А	0,13–0,18 (0,17)	0,09–0,10 (0,09)	0,07–0,09 (0,09)	
	В	0,17–0,24 (0,21)	0,11–0,13 (0,12)	0,09–0,12 (0,11)	
	АВ	0,29–0,41 (0,37)	0,2–0,22 (0,21)	0,16–0,21 (0,20)	

до зменшення кількості насінин в одній коробочці. Проте достовірна відмінність була лише між раннім і пізнім строками сівби та за норми висіву, що перевищувала 8 млн шт./га (табл. 2).

Запізнення зі сівбою призводить й до певного зниження маси 1000 насінин, однак на достовірному рівні ці відмінності проявляються лише між рослинами раннього та пізнього строків сівби. Підвищення норми висіву з 4 до 6 млн шт./га супроводжувалося збільшенням маси 1000 насінин, що можливо пов'язано з формуванням їх за рахунок коробочок пагонів базального галуження. Однак подальше загушення посівів не проявляло значного впливу на масу 1000 насінин.

Індивідуальна продуктивність рослини переважно залежала від загушення стеблостою. Зростання норми висіву з 4 до 12 млн шт./га спричиняло зниження маси насіння однієї рослини в 2,85–2,93 раза. За цим показником рослини раннього та середнього строків сівби не мали значної різниці, проте вони достовірно переважали тих, що були висіяні в пізній строк. Серед проаналізованих показників найбільший вплив на масу насіння однієї рослини мала кількість коробочок.

Урожайність насіння обумовлена сукупним впливом системи взаємопов'язаних показників, що визначають кількість рослин на одиниці площі та масу насіння однієї рослини. Оскільки

ці ознаки мають протилежну направленість, про що свідчить коефіцієнт кореляції, який перебуває в межах від $-0,97$ до $-0,98$, то максимальна маса сформованого однією рослиною насіння не відповідає найвищій урожайності.

Метеорологічні умови характеризуються високим ступенем динамічності, тому і переваги строку сівби визначаються особливою погодною умов у розрізі окремих років.

У 2009 та 2010 роках достовірно вищим був урожай насіння за середнього строку сівби та встановлення норми висіву 6–8 млн шт./га. У 2013 році близьким за значенням був урожай раннього та середнього строку сівби. Переваги реєстрували норми висіву 6 млн шт./га, а за пізнього строку – 8 млн шт./га.

Умови 2011 та 2012 років забезпечили значно вищий урожай насіння в ранній сівбі культури та в нормі висіву 6 млн шт./га, в разі зміщення часу сівби – за норми 8 млн шт./га.

За роки досліджень, незалежно від норми висіву, у середньому математично вищим був урожай насіння за сівби культури по досягненні ґрунтом стану фізичної стиглості. Зміщення строку сівби на 10 та 20 днів у середньому супроводжувалося зниженням урожайності насіння на 0,02 та 0,18 т/га, відповідно.

Найбільш близькими були значення врожайності льону за раннього та середнього строку, за пізнього строку сівби різниця набувала найвищих значень (табл. 3).

Диференціація норм висіву в межах 4–12 млн шт./га змінювала врожайність насіння льону олійного в діапазоні 9,1–12,7%. Максимальної врожайності досягали встановленням норми висіву 6 млн шт./га в ранній та середній строки сівби, тоді як у пізній – 8 млн/га. Відхилення в той чи інший бік призводило до зниження абсолютних значень урожайності.

Найбільш інтенсивно зростала врожайність зі збільшенням норми висіву від 4 до 6 млн шт./га. У подальшому відмінності варіантів 8 та 10 млн шт./га за ранньої сівби, 6 та 8 млн шт./га за середнього та пізнього строку сівби були в межах похибки дослідів або близькими.

Протягом усіх років спостережень зміщення строку сівби на більш пізній строк супроводжувалося зниженням олійності в середньому із 44,4% на 1,2 та 3,1 відсоткового пункту, відповідно.

Із підвищенням норми висіву спостерігали загальну тенденцію до зниження олійності насіння, проте достовірні відмінності були лише між віддаленими варіантами, з кроком у

4 млн. Більш істотно знижувалася олійність зі зміною норми висіву від 6 до 8 млн шт./га. Реакція ранніх строку сівби на поступове збільшення норми висіву була сильнішою, ніж за сівби через 10 та 20 днів.

Під впливом досліджуваних факторів урожайність соломи коливалася від 1,24 до 1,79 т/га (табл. 4). Сівба льону олійного в ранні строки забезпечувала вищу врожайність соломи, в середньому 1,74 т/га. Зміщення часу сівби на 10 та 20 днів супроводжувалося зниженням урожайності на 3,9 та 19,5%, відповідно до 1,67 та 1,4 т/га. Дана відмінність між варіантами була математично достовірною і проявлялася протягом кожного року досліджень.

Результатом підвищення норми висіву стала тенденція до зростання врожайності соломи від 0,12 до 0,22 т/га. За раннього строку сівби та норми висіву 6–10 млн шт./га урожайність соломи змінювалася в межах точності дослідів: 1,75–1,78 т/га. Максимальною характеризувалася врожайність соломи за норми висіву 8–12 млн шт./га у другому та третьому строках сівби.

Зміщення початку сівби супроводжувалося зменшенням умісту лубу. При цьому найбільші відмінності були між середнім та пізнім строками сівби, де вміст лубу в середньому становив 13,6 та 13,1%, відповідно. Слід зауважити, що різниця між раннім та середнім строками дорівнювала в середньому 0,28 пункту. Незалежно від строку сівби збільшення норми висіву від 4 до 12 млн шт./га відзначалося стабільним зростанням умісту лубу в межах від 0,8 до 1,1 пункту. Найбільшою різницею між варіантами норм висіву була в межах від 4 до 8 млн шт./га, тоді як відмінність між градаціями 10 та 12 млн шт./га фіксували в межах похибки дослідів. Така особливість зумовлена кількістю пагонів нижнього (базального) галузження, оскільки вони містили менше лубу; кількість їх визначалася ступенем зріженості варіантів.

Подібним був вплив і відносно міцності лубу. Зі зміщенням сівби від часу набуття ґрунтом стану фізичної стиглості на 10 та 20 днів міцність зменшувалася в середньому із 9,6 до 8,3 та 7,4 даН. Проте більший вплив мало формування щільності сівби. Збільшення норми висіву від 4 до 12 млн шт./га спонукало зростання міцності на 3,0; 2,5 та 1,5 даН відповідно строку сівби культури. У межах досліджуваних норм висіву відмінність між окремими варіантами була достовірною.

Таблиця 3. Урожайність насіння та олійність льону олійного за різних строку сівби та норм висіву (середнє за 2009–2013 рр.)

Строк сівби (фактор А)	Норма висіву, млн шт./га (фактор В)	Урожайність, т/га	Зміна врожайності, т/га		Олійність, %	± Δ	
			фактор А	фактор В		А	В
Ранній (настання фізичної стиглості ґрунту)	4	1,25	-	-	45,1	-	-
	6	1,34	-	0,10	45,0	-	-0,1
	8	1,26	-	0,02	44,5	-	-0,6
	10	1,22	-	-0,02	43,9	-	-1,2
Середній (через 10 днів)	12	1,17	-	-0,07	43,4	-	-1,7
	4	1,20	-0,05	-	44,0	-1,1	-
	6	1,30	-0,04	0,10	43,8	-1,2	-0,2
	8	1,27	0,01	0,07	43,0	-1,4	-1,0
Пізній (через 20 днів)	10	1,20	-0,02	0,01	42,6	-1,3	-1,4
	12	1,15	-0,02	-0,04	42,3	-1,1	-1,7
	4	1,02	-0,23	-	41,7	-3,3	-
	6	1,10	-0,24	0,08	41,6	-3,4	-0,1
Пізній (через 20 днів)	8	1,14	-0,13	0,12	41,2	-3,2	-0,5
	10	1,07	-0,16	0,04	41,0	-2,9	-0,7
	12	1,00	-0,17	-0,02	40,9	-2,5	-0,8
	НІР ₀₅ , т/га: А – 0,03–0,043 (0,037); В – 0,039–0,056 (0,048); АВ – 0,067–0,096 (0,083)			НІР ₀₅ , %: А – 0,38–0,56 (0,35); В – 0,49–0,72 (0,45); АВ – 0,85–1,24 (0,79)			

Таблиця 4. Урожайність соломи льону олійного за різних строків сівби та норм висіву (середнє за 2009–2013 рр.)

Строк сівби (фактор А)	Норма висіву, млн шт./га (фактор В)	Урожайність, т/га	Зміна врожайності, т/га		Показник якості соломи	
			фактор А	фактор В	вміст лубу, %	міцність, даН (кг/с)
Ранній (настання фізичної стиглості ґрунту)	4	1,60	-	-	13,2	7,9
	6	1,75	-	0,15	13,6	8,8
	8	1,76	-	0,16	13,9	9,8
	10	1,78	-	0,18	14,2	10,5
	12	1,79	-	0,19	14,3	10,9
Середній (через 10 днів)	4	1,50	-0,10	-	13,0	6,8
	6	1,65	-0,10	0,15	13,4	7,8
	8	1,73	-0,03	0,23	13,6	8,5
	10	1,74	-0,04	0,24	13,8	9,1
	12	1,72	-0,07	0,22	14,0	9,3
Пізній (через 20 днів)	4	1,24	-0,36	-	12,6	6,5
	6	1,36	-0,39	0,12	12,9	7,3
	8	1,47	-0,29	0,23	13,2	7,6
	10	1,46	-0,32	0,22	13,3	7,8
	12	1,46	-0,33	0,22	13,4	8,0

НІР₀₅, т/га: А – 0,024–0,040 (0,033);
В – 0,032–0,051 (0,042);
АВ – 0,055–0,089 (0,073)

А – 0,13–0,17; А – 0,06–0,11;
В – 0,16–0,22; В – 0,08–0,14;
АВ – 0,28–0,38 АВ – 0,14–0,25

Обговорення

Під час вирощування льону, інших сільськогосподарських культур важливе значення має оптимізація системи живлення, яку треба узгоджувати з параметрами норм висіву та густоти стояння рослин, що стосується в першу чергу оптимізації доз внесення азотних добрив (Sainju et al., 2016), а також мікроелементів – кадмію та цинку (Chakravarty & Srivastava, 2016). Дози внесення добрив коригують з умістом поживних речовин у ґрунті та величиною очікуваного врожаю льону олійного (Melnikova et al., 2015). Якість насіння льону визначається великою кількістю чинників, зокрема елементами технології вирощування, передусім системою внесення добрив (Hall et al., 2016).

Дослідження, проведені на півночі Китаю, показали, що за останні 60 років унаслідок змін клімату відбувається трансформація землеробства з виведенням нових, більш посухостійких культур (Rong et al., 2015). Важливим питанням залишається екологічна безпека землеробства у зв'язку з підвищенням біологічного різноманіття рослин, у тому числі за рахунок розширення площ льону олійного, вирощуваного за ресурсощадними технологіями (Janoušková et al., 2016; Hensgen et al., 2016; Hülber et al., 2017; Mujtaba et al., 2017; Wu et al., 2018; Büchi et al., 2018). Технологія вирощування льону потребує енергетичного обґрунтування (Zentner et al., 1989). Найвищі енергетичні витрати на рівні 30–50% припадали на паливно-мастильні матеріали, на добрива – 15–49%, пестициди – 4–11%. Витрати енергії істотно зростають від засміченості ґрунту бур'янами, а також на еродованих ґрунтах (Evrard et al., 2010; Petita et al., 2017).

У багатьох дослідках доведена висока ефективність продуктів переробки льону олійного як лікарського засобу (Abarchi et al., 2011; Bahabadi et al., 2012; Yousefzadi et al., 2012; Palla et al., 2015). Олія містить біологічно активні сполуки та елементи, включаючи ліноленову кислоту, лінолеву кислоту, лігніни, циклічні пептиди, полісахариди, алкалоїди, ціаногенні глікозиди та кадмії (Broomhead & Dewick, 1990; Shim et al., 2014; Zou et al., 2017). Різні методи переробки дозволяють отримати з олії корисні речовини з подальшим їх використанням у медицині (Kartal et al., 2004; Heimendahl et al., 2005; Cong et al., 2015; Nadad et al., 2018).

Якість соломи льону пов'язана з генетичними властивостями сортів (Guo et al., 2017). Тому необхідно проводити селекційну роботу з визначенням генетичних особливостей рослин, молекулярних та клітинних зв'язків для відбору матеріалу з високою якістю льяного луб'яного волокна (Abarchi et al., 2011; Hasnain et al., 2018).

З екологічної точки зору перспективним є використання олії льону олійного для виготовлення біодизельного пального, яке може на 85–90% скоротити втрати непоновлювальних ресурсів та забезпечувати захист навколишнього середовища (Vacenetti et al., 2017). Виробництво біодизелю з олії льону характеризується низькими витратами мінеральних добрив та пестицидів, не вимагає застосування зрошення. При цьому за умов переробки льону в біологічні види палива велике практичне значення має вдосконалення процесів переробки сировини (Schultz-Jensen et al., 2013; Fu et al., 2016; Yahmed et al., 2016).

Таким чином, нашими дослідженнями встановлено, що врожайність та якість насіння льону олійного значною мірою залежать від впливу агротехнологічних чинників та метеорологічних умов. Проте існує необхідність продовження досліджень з льоном для встановлення впливу інших агрозаходів, вивчення біохімічного складу олії, доведення ефективності переробки олії для отримання альтернативних джерел енергії.

Висновки

Сівба льону олійного в пізній строк призводить до зменшення кількості коробочок і насінин у них, а також до зниження маси 1000 насінин. Переваги раннього та середнього строків сівби культури визначаються умовами року. У більшості років вищими є врожайність насіння, його олійність та продуктивність посівів у разі сівби льону нормою 6 млн шт./га за набуття ґрунтом стану фізичної стиглості. Сівба льону олійного в ранні строки забезпечує вищі показники врожайності соломи, вмісту лубу та його якості, а зміщення часу на 10 та 20 днів супроводжується зниженням урожайності на 3,9 та 19,5%, відповідно. Незалежно від строку сівби загушення рослин сприяє підвищенню врожайності соломи, вмісту лубу та його умовного виходу.

References

- Abarchi, J. A., Laoualy, B. M., Bienaimé, Ch., Dubois, F., & Baltora-Rosset, S. (2011). Investigation of lignan accumulation in developing *Linum usitatissimum* seeds by immunolocalization and HPLC. *Phytochemistry Letters*, 4(2), 194–198. doi: [10.1016/j.phytol.2011.03.004](https://doi.org/10.1016/j.phytol.2011.03.004).
- Bacenetti, J., Restuccia, A., Schillaci, G., & Failla, S. (2017). Biodiesel production from unconventional oilseed crops (*Linum usitatissimum* L. and *Camelina sativa* L.) in Mediterranean conditions: Environmental sustainability assessment. *Renewable Energy*, 112, 444–456. doi: [10.1016/j.renene.2017.05.044](https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.044).
- Bahabadi, S. E., Sharifi, M., Behmanesh, M., Safaie, N., Murata, J., Araki, R., Yamagaki, T., & Satake, H. (2012). Time-course changes in fungal elicitor-induced lignan synthesis and expression of the relevant genes in cell cultures of *Linum album*. *Journal of Plant Physiology*, 169, 5, 487–491. doi: [10.1016/j.jplph.2011.12.006](https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.12.006).
- Broomhead, A. J., & Dewick, P. M. (1990). Aryltetralin lignans from *Linum flavum* and *Linum capitatum*. *Phytochemistry*, 29(12), 3839–3844. doi: [10.1016/0031-9422\(90\)85343-E](https://doi.org/10.1016/0031-9422(90)85343-E).
- Büchi, L., Wendling, M., Amossé, C., Necpalova, M., & Charles, R. (2018). Importance of cover crops in alleviating negative effects of reduced soil tillage and promoting soil fertility in a winter wheat cropping system. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 256, 92–104. doi: [10.1016/j.agee.2018.01.005](https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.005).
- Chakravarty, B., & Srivastava, S. (2016). Effect of cadmium and zinc interaction on metal uptake and regeneration of tolerant plants in linseed. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 61, 45–50. doi: [10.1016/S0167-8809\(96\)01078-X](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(96)01078-X).
- Cong, L. H., Dauwe, R., Lequart, M., Vinchon, S., Renouard, S., Fliniaux, O., Colas, C., Corbin, C., Doussot, J., Hano, Ch., Lamblin, F., Molinié, R., Pilard, S., Jullian, N., Boitel, M., Gontier, E., Mesnard, F., & Laberche, J.-C. (2015). Kinetics of glucosylated and non-glucosylated aryltetralin lignans in *Linum hairy* root cultures. *Phytochemistry*, 115, 70–78. doi: [10.1016/j.phytochem.2015.01.001](https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2015.01.001).
- Evrard, O., Nord, G., Cerdan, O., Souchère, V., Bissonnais, Y. L., & Bonté, P. (2010). Modelling the impact of land use change and rainfall seasonality on sediment export from an agricultural catchment of the northwestern European loess belt. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 138(1–2), 83–94. doi: [10.1016/j.agee.2010.04.003](https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.04.003).
- Fu, Y.-B., Dong, Y., & Yang, M.-H. (2016). Multiplexed shotgun sequencing reveals congruent three-genome phylogenetic signals for four botanical sections of the flax genus *Linum*. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 101, 122–132. doi: [10.1016/j.ympev.2016.05.010](https://doi.org/10.1016/j.ympev.2016.05.010).
- Guo, Y., Qiu, C., Long, S., Chen, P., Hao, D., Preisner, M., Wang, H., & Wang, Y. (2017). Digital gene expression profiling of flax (*Linum usitatissimum* L.) stem peel identifies genes enriched in fiber-bearing phloem tissue. *Gene*, 626, 32–40. doi: [10.1016/j.gene.2017.05.002](https://doi.org/10.1016/j.gene.2017.05.002).
- Hadad, S., Amir, S., & Goli, H. (2018). Fabrication and characterization of electrospun nanofibers using flaxseed (*Linum usitatissimum*) mucilage. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 408–414. doi: [10.1016/j.ijbiomac.2018.03.154](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.154).
- Hall, L. M., Rodrigo, H. B., Siloto, M. P., Jhala, A. J., & Weselake, R. J. (2016). Chapter 6 – Flax (*Linum usitatissimum* L.). *Industrial Oil Crops*, 157–194. doi: [10.1016/B978-1-893997-98-1.00006-3](https://doi.org/10.1016/B978-1-893997-98-1.00006-3).
- Hasnain, M. S., Rishishwar, P., Rishishwar, S., Ali, S., & Nayak, A. K. (2018). Isolation and characterization of *Linum usitatissimum* polysaccharide to prepare mucoadhesive beads of diclofenac sodium. *International Journal of Biological Macromolecules*, 116, 162–172. doi: [10.1016/j.ijbiomac.2018.04.151](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.151).
- Heimendahl, C. B. I. von, Schäfer, K. M., Eklund, P., Sjöholm, R., Schmidt, Th. J., & Fuss, E. (2005). Pinoresinol–lariciresinol reductases with different stereospecificity from *Linum album* and *Linum usitatissimum*. *Phytochemistry*, 66(11), 1254–1263. doi: [10.1016/j.phytochem.2005.04.026](https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2005.04.026).
- Hensgen, F., Böhle, L., & Wachendorf, M. (2016). The effect of harvest, mulching and low-dose fertilization of liquid digestate on above ground biomass yield and diversity of lower mountain semi-natural grasslands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 216, 283–292. doi: [10.1016/j.agee.2015.10.009](https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.10.009).
- Hülber, K., Moser, D., Sauberer, N., Maas, B., Staudinger, M., Grass, V., Wrbka, Th., & Willner, W. (2017). Plant species richness decreased in semi-natural grasslands in the Biosphere Reserve Wienerwald, Austria, over the past two decades, despite agri-environmental measures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 243, 10–18. doi: [10.1016/j.agee.2017.04.002](https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.04.002).
- Janoušková, A. M., Slavíková, R., Pánková, H., Daniel, O., Vazačová, K., Rydlová, J., Vosátka, M., & Münzbergová Z. (2016). Effect of past agricultural use on the infectivity and composition of a community of arbuscular mycorrhizal fungi. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 221, 28–39. doi: [10.1016/j.agee.2016.01.012](https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.012).
- Kartal, M., Konuklugil, B., Indrayanto, G., & Alfermann, A.W. (2004). Comparison of different extraction methods for the determination of podophyllotoxin and 6-methoxypodophyllotoxin in *Linum* species. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 35(3), 441–447. doi: [10.1016/j.jpba.2004.01.016](https://doi.org/10.1016/j.jpba.2004.01.016).
- Kulmaabe, A., Zukab, M., Longc, S. H., Qiuc, C. S., Wangc, Y. F., Jankauskienė S., Preisnerabe, M., Kostynab, K., & Szopaabe J. (2014). Biotechnology of fibrous flax in Europe and China. *Industrial Crops and Products*, 68, 50–59. doi: [10.1016/j.indcrop.2014.08.032](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.08.032).
- Lalaleo, L., Alcazar, R., Palazon, J., Moyano, E., Cusido, R. M., & Bonfill, M. (2018). Comparing aryltetralin lignan accumulation patterns in four biotechnological systems of *Linum album*. *Journal of Plant Physiology*, 228, 197–207. doi: [10.1016/j.jplph.2018.06.006](https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.06.006).
- Lalaleo, L., Testillano, P., Risueño, M.-C., Cusidó, R. M., Palazon, J., Alcazar, R., & Bonfill, M. (2018). Effect of in vitro morphogenesis on the production of podophyllotoxin derivatives in callus cultures of *Linum album*. *Journal of Plant Physiology*, 228, 47–58. doi: [10.1016/j.jplph.2018.05.007](https://doi.org/10.1016/j.jplph.2018.05.007).
- Leóna, F., Rodríguez, M., & Cuevas, M. (2003). Anaphylaxis to linum. *Allergologia et Immunopathologia*, 31(1), 47–49. doi: [10.1016/S0301-0546\(03\)79163-0](https://doi.org/10.1016/S0301-0546(03)79163-0).
- Lloyd, M., & Walker, T. (2011). Flax Seed (*Linum usitatissimum*) Fatty Acids. *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention*, 58, 487–498. doi: [10.1016/B978-0-12-375688-6.10058-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-375688-6.10058-1).
- Melnikova, N. V., Dmitriev, A. A., Belenikin, M. S., Speranskaya, A. S., Krinitsina, A. A., Rachinskaia, O. A., Lakunina, V. A., Krasnov, G. S., Snezhkina, A.V., Sadritdinova, A. F., Uroshlev, L. A., Koroban, N. V., Samatadze, T. E., Amosova, A. V., Zelenin, A. V., Muravenko, O. V., Bolsheva, N. L., & Kudryavtseva, A. V. (2015). Excess fertilizer responsive miRNAs revealed in *Linum usitatissimum* L. *Biochimie*, 109, 36–41. doi: [10.1016/j.biochi.2014.11.017](https://doi.org/10.1016/j.biochi.2014.11.017).
- Mujtaba, M., Salaberria, A. M., Andres, M. A., Kaya, M., Gunyakti, A., & Labidi, J. (2017). Utilization of flax (*Linum usitatissimum*) cellulose nanocrystals as reinforcing material for chitosan films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 104, Part A, 944–952. doi: [10.1016/j.ijbiomac.2017.06.127](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.06.127).
- Palla, A. H., Khan, N. A., Najeebur-Rehman, B. S., Iqbal, J., & Gilani, A.-H. (2015). Pharmacological basis for the medicinal use of *Linum usitatissimum* (Flaxseed) in infectious and non-infectious diarrhea. *Journal of Ethnopharmacology*, 160, 61–68. doi: [10.1016/j.jep.2014.11.030](https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.11.030).
- Petita, S., Trichardb, A., Biju-Duvala, L., McLaughlina, Ó. B., & Bohana, D. A. (2017). Interactions between conservation agricultural practice and landscape composition promote weed seed predation by invertebrates. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 240, 45–53. doi: [10.1016/j.agee.2017.02.014](https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.014).

- Quéro, A., Molinié, R., Elbouchfaoui, R., Petit, E., Pau-Roblot, C., Guillot, X., Mesnard, & Courtois, F. J. (2014). Osmotic stress alters the balance between organic and inorganic solutes in flax (*Linum usitatissimum*). *Journal of Plant Physiology*, 171, 55–64. doi: [10.1016/j.jplph.2013.07.006](https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.07.006).
- Rong, Y., Ma, L., Johnson, D. A., & Yuan, F. (2015). Soil respiration patterns for four major land-use types of the agro-pastoral region of northern China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 213, 142–150. doi: [10.1016/j.agee.2015.08.002](https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.08.002).
- Sainju, U. M., Lenssen, A. W., Allen, B. L., Stevens, W. B., & Jabro, J. D. (2016). Nitrogen balance in response to dryland crop rotations and cultural practices. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 233, 25–32. doi: [10.1016/j.agee.2016.08.023](https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.023).
- Schmidt, T. J., Hemmati, S., Klaes, M., Konuklugil, B., Mohaghezadeh, A., Ionkova, I., Fuss, E., & Alfermann, A. W. (2010). Lignans in flowering aerial parts of *Linum* species – Chemodiversity in the light of systematics and phylogeny. *Phytochemistry*, 71, 14–15, 1714–1728. doi: [10.1016/j.phytochem.2010.06.015](https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2010.06.015).
- Schmidt, T. J., Klaes, M., & Sendker, J. (2012). Lignans in seeds of *Linum* species. *Phytochemistry*, 82, 89–99. doi: [10.1016/j.phytochem.2012.07.004](https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2012.07.004).
- Schultz-Jensen, N., Thygesen, A., Leipold, F., Thomsen, S. T., Roslander, C., Lilholt, H., & Bjerre, A. B. (2013). Pretreatment of the macroalgae *Chaetomorpha linum* for the production of bioethanol – Comparison of five pretreatment technologies. *Bioresource Technology*, 140, 36–42. doi: [10.1016/j.biortech.2013.04.060](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.04.060).
- Sheidai, M., Afshar, F., Keshavarzi, M., Talebi, S.-M., Noormohammadi, Z., & Shafaf, T. (2014). Genetic diversity and genome size variability in *Linum austriacum* (Lineaceae) populations. *Biochemical Systematics and Ecology*, 57, 20–26. doi: [10.1016/j.bse.2014.07.014](https://doi.org/10.1016/j.bse.2014.07.014).
- Shim, Y. Y., Gui, B., Arnison, P. G., Wang, Y., & Reaney, M. J. T. (2014). Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.) bioactive compounds and peptide nomenclature: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 38, 1, 5–20. doi: [10.1016/j.tifs.2014.03.011](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.03.011).
- Ushkarenko, V. O., Nikishenko, V. L., Goloborodko, S. P., & Kokovikhin, S. V. (2008). Dispersiyniy i korelyatsiyniy analiz v zemlerobstvi ta roslinnitstvi [Dispersion and correlation analysis in agriculture and crop production]. Aylant, Kherson (in Ukrainian).
- Vasilev, N. P., & Ionkova, I. (2005). Cytotoxic activity of extracts from *Linum* cell cultures. *Fitoterapia*, 76, 1, 50–53. doi: [10.1016/j.fitote.2004.10.008](https://doi.org/10.1016/j.fitote.2004.10.008).
- Wu, J., Zhao, Q., Sun, D., Wu, G., Zhang, L., Yuan, H., Yu, Y., Zhang, S., Yang, X., Li, Z., & Jiang, T. (2018). Transcriptome analysis of flax (*Linum usitatissimum* L.) undergoing osmotic stress. *Industrial Crops and Products*, 116, 215–223. doi: [10.1016/j.indcrop.2018.02.035](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.035).
- Yahmed, N. B., Jmel, M. A., Alaya, M. B., Bouallagui, H., Marzouki, M. N., & Smaali, I. (2016). A biorefinery concept using the green macroalgae *Chaetomorpha linum* for the coproduction of bioethanol and biogas. *Energy Conversion and Management*, 119, 257–265. doi: [10.1016/j.enconman.2016.04.046](https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.04.046).
- Yousefzadi, M., Sharifi, M., Behmanesh, M., Ghasempour, A., Moyano, E., & Palazon J. (2012). The effect of light on gene expression and podophyllotoxin biosynthesis in *Linum album* cell culture. *Plant Physiology and Biochemistry*, 56, 41–46. doi: [10.1016/j.plaphy.2012.04.010](https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.04.010).
- Zahir, A., Ahmad, W., Nadeem, M., Giglioli-Guivarc'h, N., Hano, C., & HaiderAbbasi, B. (2018). In vitro cultures of *Linum usitatissimum* L.: Synergistic effects of mineral nutrients and photoperiod regimes on growth and biosynthesis of lignans and neolignans. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 187, 141–150. doi: [10.1016/j.jphotobiol.2018.08.009](https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.08.009).
- Zentner, R. P., Stumborg, M. A., & Campbell C. A. (1989). Effect of crop rotations and fertilization on energy balance in typical production systems on the Canadian Prairies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 25(2–3), 217–232. doi: [10.1016/0167-8809\(89\)90053-4](https://doi.org/10.1016/0167-8809(89)90053-4).
- Zou, X.-G., Chen, X.-L., Hu, J.-N., Wang, Y.-F., Gong, D.-M., Zhu, X.-M., & Deng, Z.-Y. (2017). Comparisons of proximate compositions, fatty acids profile and micronutrients between fiber and oil flaxseeds (*Linum usitatissimum* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 62, 168–176. doi: [10.1016/j.jfca.2017.06.001](https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.06.001).