

ВПЛИВ ДОБРИВ АНТИСТРЕСАНТІВ НА АНАТОМІЧНУ БУДОВУ ПАГОНІВ І ЛИСТКІВ ЯБЛУНІ

І. В. ЗАМОРСЬКИЙ, здобувач третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти (доктор філософії)
Уманський національний університет

Наведено результати вивчення фоліарного внесення добрив в насадженнях яблуні трьох сортів. Доведено, що найбільш ефективними щодо розвитку анатомічних елементів пагонів були мінеральні добрива «Універсал ріст» (стимулювало розвиток ксилеми) та «Поліактив буст» (стимулював розвиток флоему), тоді як «Фосфітний» посилив формування ксилеми. Встановлено, що у всіх сортів спостерігалось достовірне збільшення анатомічних структур листка під впливом фоліарних добрив.

Ключові слова: яблуня, добрива-антистресанти, анатомія пагонів, анатомія листків.

Постановка проблеми. Застосування засобів для зняття стресу в садівництві після дії посухи чи низьких температур — важливий агротехнічний захід, що допомагає рослинам швидше відновитися, зменшити втрати врожаю, а також покращити їх імунітет до майбутніх стресів. Посуха та холод призводять до зневоднення клітин, пригнічення фотосинтезу, зниження вмісту хлорофілу в листовому апараті, порушення гормонального балансу та в цілому до ослаблення імунної системи плодових рослин. На цьому фоні різко знижується засвоєння елементів живлення впродовж вегетації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Антистресанти в садівництві — це препарати, що містять амінокислоти, фітогормони, вітаміни та мікроелементи, які допомагають рослинам швидко відновити метаболізм та захисні функції після таких несприятливих умов, як пересадка, посуха, заморозки, град, спека, хімічні обробки або механічні пошкодження. Вони стимулюють синтез власних захисних сполук рослини, покращують засвоєння поживних речовин і зміцнюють клітинні мембрани, тим самим підвищуючи стійкість рослин до стресових факторів та сприяючи кращому росту та плодоношенню. Більшість антистресантів слід віднести до біостимуляторів рослин. Визначення терміну «біостимулятор рослин» було предметом дискусій, оскільки кілька сполук, органічних та неорганічних, з різних біологічних джерел чи ні (синтетичних), можуть мати стимулюючу дію на ріст рослин, що занадто розширює кількість сполук і, безумовно, послаблює визначення. Це було належним чином обговорено О.І. Яхіним та ін. [1], які запропонували таке визначення: «сформульований продукт біологічного походження, який покращує продуктивність рослин внаслідок нових або емерджентних властивостей комплексу компонентів, а не як єдиний наслідок присутності

відомих незамінних поживних речовин для рослин, регуляторів росту рослин або сполук для захисту рослин». Попереднє та подібне визначення було запропоновано Європейською радою промисловості біостимуляторів [2]: біостимулятори рослин – це продукти біологічного походження, включаючи мікроорганізми, які при нанесенні на рослини або ґрунт (коріння) стимулюють фізіологічні процеси, що сприяють кращій продуктивності рослин, зі збільшенням росту, продуктивності, більшою стійкістю до стресу та підвищенням якості продукції. Тому визначення біостимуляторів рослин тісно пов'язане зі змінами фізіологічних функцій рослин [3].

Походження рослинних біостимуляторів різноманітне, вони отримуються з різних органічних джерел, таких як мікробна ферментація тваринної або рослинної сировини, гумінові речовини, екстракти водоростей, білкові гідролізати, промислові залишки, корисні гриби [4, 5] та ризобактерії, що сприяють росту рослин [6]. Комерційні продукти рослинних біостимуляторів, як правило, є мікробними інокулянтами, гуміновими кислотами (ГА), фульвокислотами (ФК), білковими гідролізатами (БГ), амінокислотами (АК) та екстрактами водоростей (ЕВ) [7, 8]. Бурі водорості *Ascophyllum nodosum* є найбільш використовуваним видом, впливаючи на ріст і врожайність багатьох сільськогосподарських культур, а також покращуючи якість плодів [9]. Ще однією широко використовуваною водорістю є *Ecklonia maxima*, яка також показала свою ефективність у покращенні росту рослин і якості плодів [10–12].

Дотепер дослідження зосереджувалися на специфіці культур та агроєкосистем, оптимальних дозах та графіку їх застосування для оптимізації врожайності в умовах стресу [13, 14]. Ці зусилля доповнюються дослідженнями генів та генної регуляторної мережі на молекулярному рівні з метою адаптації культурних рослин до кліматичної стійкості. Окрім дотримання нормативних актів, що регулюють використання біохімікатів, науковцями досліджуються питання, пов'язані з втратами врожаю в разі надмірних доз, а також їх вплив на здоров'я ґрунту. Отже, існують перспективи та шляхи застосування антистресантів як нової технології для зменшення стресу при вирощуванні плодових культур у суворих агроєкосистемах, зокрема тих, що характеризуються посухою, спекою та заморозками.

Методика та об'єкти досліджень. Досліджували три сорти яблуні: Беліда, Ред Джонапринц та Хоней Крісп, які вирощувались на підщепі М.9. Застосовували добрива-антистресанти - Еколайн Фосфітний (К-Аміно), Еколайн Універсал Ріст (Аміно), Поліактив буст фоліарним методом внесення. Зроблено аналіз анатомічних параметрів пагонів (кора, флоема, ксилема, судини флоєми) та листків (ширина жилки, флоєми, товщина листка) у досліджуваних сортів. Використовувались польовий і лабораторний методи, а також статистичний аналіз результатів. Анатомічні дослідження проводили за методикою Заморського В. В. [16].

Результати досліджень. Аналіз отриманих даних (табл. 1), дає підстави стверджувати, що внесення фоліарним методом добрив-антистресантів суттєво впливає на товщину кори, флоєми та ксилеми пагонів яблуні.

Табл. 1. Параметри анатомічної будови поперечного перерізу пагонів яблуні залежно від сорту та фоліарного внесення добрив (2024–2025 рр.)

Сорт	Фоліарне добриво	кора, $\mu\text{к}$	флоема, $\mu\text{к}$	ксилема, $\mu\text{к}$	судини флоєми, $\mu\text{к}$
Беліда	Контроль (вода)	441	1056	1211	18
	Універсал ріст	548	1615	1402	32
	Фосфітний	587	937	1422	22
	Поліактив буст	513	1086	1198	18
Ред Джонапринц	Контроль (вода)	368	864	1041	26
	Універсал ріст	513	1517	1459	34
	Фосфітний	545	1668	1522	34
	Поліактив буст	540	1748	1793	28
Хоней Крісп	Контроль (вода)	378	694	1129	22
	Універсал ріст	483	1391	1583	23
	Фосфітний	401	1293	1322	19
	Поліактив буст	506	1771	1424	18
<i>НІР₀₅</i>		<i>17</i>	<i>42</i>	<i>43</i>	<i>0,8</i>

У всіх сортів спостерігається стимулювання розвитку провідних і механічних тканин у порівнянні з контролем. Значення НІР₀₅ (кора – 17 $\mu\text{к}$, флоема – 42 $\mu\text{к}$, ксилема – 43 $\mu\text{к}$) підтверджує достовірність більшості відмінностей.

Вивчення поперечних зрізів пагонів сорту яблуні Беліда показало, що у варіанті з застосуванням добрива «Універсал ріст» спостерігалось найвиразніше збільшення товщини флоєми та судин флоєми (до 32 $\mu\text{к}$). Мінеральне добриво «Фосфітний» стимулювало розвиток ксилеми (1422 $\mu\text{к}$), тоді як «Поліактив буст» забезпечувало помірний розвиток усіх тканин. У пагонів сорту Ред Джонапринц фоліарне внесення добрива суттєво збільшувало товщину флоєми та ксилеми. Найбільші показники ксилеми (1793 $\mu\text{к}$) і флоєми (1748 $\mu\text{к}$) відзначено у варіанті з застосуванням «Поліактив буст». Мінеральні добрива «Універсал ріст» та «Фосфітний» підсилювали розвиток судин флоєми (до 34 $\mu\text{к}$). Дослідження пагонів сорту Хоней Крісп показало, що мінеральне добриво «Поліактив буст» забезпечувало найвище збільшення товщини флоєми (до 1771 $\mu\text{к}$), тоді як «Універсал ріст» стимулювало розвиток ксилеми (до 1583 $\mu\text{к}$). Встановлені зміни діаметрів судин флоєми незначні та не виходили за межі НІР₀₅.

В цілому найбільш чутливими до фоліарних підживлень виявилися сорти Ред Джонапринц і Хоней Крісп. Мінеральне добриво «Універсал ріст» стабільно стимулювало розвиток ксилеми пагонів, «Поліактив буст» найбільше впливав на розвиток флоєми, а «Фосфітний» сприяв розвитку механічних тканин, особливо ксилеми.

Зміни основних анатомічних параметрів листової пластинки яблуні різних сортів та за умов фоліарного застосування добрив-антистресантів

наведені в таблиці 2. Досліджували ширину жилки листка та флоєми, визначали загальну товщину листової пластини.

Табл. 2. Параметри анатомічної будови листків яблуні залежно від сорту та фоліарного внесення добрив, 2024–2025 рр.

Сорт	Фоліарне добриво	ширина жилки, $\mu\text{к}$	ширина флоєми, $\mu\text{к}$	товщина листка, $\mu\text{к}$
Беліда	Контроль (вода)	544	203	203
	Універсал ріст	1272	730	284
	Фосфітний	965	571	241
	Поліактив буст	702	355	220
Ред Джонапринц	Контроль (вода)	1036	603	184
	Універсал ріст	1252	874	309
	Фосфітний	1095	626	268
	Поліактив буст	1144	668	260
Хоней Крісп	Контроль (вода)	550	370	138
	Універсал ріст	946	506	262
	Фосфітний	668	390	180
	Поліактив буст	640	480	308
<i>HIP₀₅</i>		39	25	8

Аналіз даних таблиці 2 показує, що у сорту Беліда у варіанті контроль всі параметри були найнижчими. Фоліарне застосування добрива «Універсал Ріст» суттєво збільшило ширину жилки (1272 $\mu\text{к}$) та флоєми (730 $\mu\text{к}$), що перевищувало контроль у 2,3–3,6 рази. Добриво «Фосфітний» зумовило помірне зростання анатомічних структур, а «Поліактив буст» – підвищення, але менш інтенсивне, ніж «Універсал Ріст».

Контрольні листки сорту Ред Джонапринц: мали середні значення ширини жилки (1036 $\mu\text{к}$) та флоєми (603 $\mu\text{к}$). Максимальні значення досліджуваного сорту отримано у варіанті за фоліарного внесення добрива «Універсал Ріст» – 1252 $\mu\text{к}$ і 874 $\mu\text{к}$ відповідно, що свідчить про високу реакцію сорту на позакореневе живлення. Мінеральні добрива «Фосфітний» та «Поліактив буст» також підвищували анатомічні параметри листків сорту Ред Джонапринц, проте в меншій мірі.

Вимірювання параметрів листків сорту яблуні Хоней Крісп показало, що у контрольних листків показники виявились найнижчими серед досліджуваних сортів. Найбільші значення ширини жилки (946 $\mu\text{к}$) та товщини листка (262 $\mu\text{к}$) відмічено у варіанті за використання добрива «Універсал Ріст». Фоліарне внесення добрива «Фосфітний» забезпечило помірне збільшення, а «Поліактиву буст» сприяло найсильнішому впливу на товщину листка (308 $\mu\text{к}$), що може свідчити про стимуляцію мезофілу.

В цілому слід визначити, що сорт Беліда вирізнявся найнижчими показниками за дослідження листків, але найбільшою реакцією на добриво «Універсал Ріст», сорт Ред Джонапринц виділявся стабільно високими

показниками незалежно від варіантів досліду, тоді як сорт Хоней Крісп демонстрував значний приріст товщини листка залежно від фоліарного внесення добрив.

Висновки. Фоліарне внесення добрив здійснювало виражений морфогенетичний вплив на анатомічну будову пагонів яблуні, змінюючи співвідношення та розвиток провідних тканин. Найбільш ефективними препаратами були «Універсал ріст» (стимулювало розвиток ксилеми) та «Поліактив буст» (стимулював розвиток флоему), тоді як «Фосфітний» посилив формування ксилеми. У всіх сортів спостерігалось достовірне збільшення анатомічних структур листка під впливом фоліарних добрив. Добриво «Універсал Ріст» забезпечило найбільше зростання анатомічних параметрів у трьох сортів, а добриво «Поліактив буст» у сорту Хоней Крісп найбільше вплинуло на товщину листка, що може бути ознакою посилення фотосинтетичної активності.

Література:

1. Яхін О. І., Лубянов А. А., Яхін І. А., Браун П. Г. Біостимулятори в рослинництві: глобальна перспектива. *Front. Plant. Sci.* 2017. № 7.
2. Європейська рада з виробництва біостимуляторів EBIC. Доступно онлайн: <http://www.biostimulants.eu> 2013.
3. Ricci M., Tilbury L., Daridon B., Sukalac K. General principles to justify plant biostimulant claims. *Frontiers in Plant Science*. 2019. № 10. P. 494. DOI: 10.3389/fpls.2019.00494.
4. Roupael Y., Franken P., Schneider C., Schwarz D., Giovannetti M., Agnolucci M., De Pascale S., Bonini P., Colla G. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Sci. Horticulturae*. 2015. № 196. P. 91–108. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.09.002 hero.epa.gov+2iris.unina.it+2
5. Colla G., Nardi S., Cardarelli M., Ertani A., Lucini L., Canaguier R., Roupael Y. Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Sci. Horticulturae*. 2015. № 196. P. 28–38. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.08.037 iris.unina.it
6. Ruzzi M., Aroca R. Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. *Sci. Horticulturae*. 2015. № 196. P. 124–134. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.08.042 dergipark.org.tr+1
7. Calvo P., Nelson L., Kloepper J. W. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*. 2014. № 383. P. 3–41. DOI: 10.1007/s11104-014-2131-8 pubhort.org
8. Soppelsa S., Kelderer M., Casera C., Bassi M., Robatscher P., Andreotti C. Use of biostimulants for organic apple production: effects on tree growth, yield and fruit quality at harvest and during storage. *Front. Plant Sci.* 2018. № 9. P. 1342. DOI: 10.3389/fpls.2018.01342 PMC
9. du Jardin P. Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Sci. Horticulturae*. 2015. № 196. P. 3–14. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.09.021
10. Rengasamy K. R. R., Kulkarni M. G., Stirk W. A., van Staden J. *Ecklonia maxima* extract – a new plant growth stimulant from the brown seaweed

Ecklonia maxima. *J. Appl. Phycol.* 2014. № 27. P. 581–587. DOI: 10.1007/s10811-014-0337-z

11. Roupahel Y., Colla G., Giordano M., El-Nakhel C., Kyriacou M. C., De Pascale S. Foliar application of a legume-derived protein hydrolysate induces dose-dependent increases in growth, leaf mineral composition, yield and fruit quality in tomato. *Sci. Horticulturae*. 2017. № 226. P. 353–360.

12. Kulkarni M. G., Rengasamy K. R. R., Pendota S. C., Gruz J., Plachkova L., Novak O., Doležal K., van Staden J. Bioactive molecules from smoke and seaweed (*Ecklonia maxima*) exhibiting phytohormone-like activity in *Spinacia oleracea* L. *New Biotechnology*. 2019. № 48. P. 83–89.

13. Stamm P., Ramamoorthy R., Kumar P. P. Feeding the extrabillions: strategies to improve crops and enhance future food security. *Plant Biotechnol. Rep.* 2011. № 5. P. 107–120.

14. Steenhoudt O., Vanderleyden J. Azospirillum, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. *FEMS Microbiol. Rev.* 2000. № 24. P. 487–506.

15. Strobel N. E., Kuc A. Chemical and biological inducers of systemic acquired resistance to pathogens protect cucumber and tobacco from damage caused by paraquat and cupric chloride. *Phytopathology*. 1995. № 85. P. 1306–1310.

16. Заморський В. В. Особливості методики вивчення анатомічної будови структурних елементів дерев яблуні з допомогою комп'ютерної техніки. *Зб. наук. пр. Уманського державного аграрного університету*. 2005. № 59. С. 268–271.

References:

1. Yakhin, O. I., Lubyanyov, A. A., Yakhin, I. A., Brown, P. G. (2017). Biostimulants in crop production: a global perspective. *Front. Plant Sci.*, 7, 1–10.

2. European Biostimulants Industry Council (EBIC). (2013). Available online: <http://www.biostimulants.eu>.

3. Ricci, M., Tilbury, L., Daridon, B., Sukalac, K. (2019). General principles to justify plant biostimulant claims. *Front. Plant Sci.*, 10, 494. DOI: 10.3389/fpls.2019.00494

4. Roupahel, Y., Franken, P., Schneider, C., Schwarz, D., Giovannetti, M., Agnolucci, M., De Pascale, S., Bonini, P., Colla, G. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Sci. Horticulturae*, 196, 91–108. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.09.002

5. Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R., Roupahel, Y. (2015). Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Sci. Horticulturae*, 196, 28–38. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.08.037

6. Ruzzi, M., Aroca, R. (2015). Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. *Sci. Horticulturae*, 196, 124–134. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.08.042

7. Calvo, P., Nelson, L., Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant Soil*, 383, 3–41. DOI: 10.1007/s11104-014-2131-8

8. Soppelsa, S., Kelderer, M., Casera, C., Bassi, M., Robatscher, P., Andreotti, C. (2018). Use of biostimulants for organic apple production: effects on tree

growth, yield and fruit quality at harvest and during storage. *Front. Plant Sci.*, 9, 1342. DOI: 10.3389/fpls.2018.01342

9. du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: definition, concept, main categories and regulation. *Sci. Horticulturae*, 196, 3–14. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.09.021

10. Rengasamy, K. R. R., Kulkarni, M. G., Stirk, W. A., van Staden, J. (2014). Ecklonia maxima extract – a new plant growth stimulant from the brown seaweed Ecklonia maxima. *J. Appl. Phycol.*, 27, 581–587. DOI: 10.1007/s10811-014-0337-z

11. Roupael, Y., Colla, G., Giordano, M., El Nakhel, C., Kyriacou, M. C., De Pascale, S. (2017). Foliar application of a legume-derived protein hydrolysate induces dose-dependent increases in growth, leaf mineral composition, yield and fruit quality in tomato. *Sci. Horticulturae*, 226, 353–360.

12. Kulkarni, M. G., Rengasamy, K. R. R., Pendota, S. C., Gruz, J., Plachkova, L., Novak, O., Doležal, K., van Staden, J. (2019). Bioactive molecules from smoke and seaweed (Ecklonia maxima) exhibiting phytohormone-like activity in Spinacia oleracea L. *New Biotechnol.*, 48, 83–89.

13. Stamm, P., Ramamoorthy, R., Kumar, P. P. (2011). Feeding the extrabillions: strategies to improve crops and enhance future food security. *Plant Biotechnol. Rep.*, 5, 107–120.

14. Steenhoudt, O., Vanderleyden, J. (2000). Azospirillum, a free-living nitrogen-fixing bacterium closely associated with grasses: genetic, biochemical and ecological aspects. *FEMS Microbiol. Rev.*, 24, 487–506.

15. Strobel, N. E., Kuc, A. (1995). Chemical and biological inducers of systemic acquired resistance to pathogens protect cucumber and tobacco from damage caused by paraquat and cupric chloride. *Phytopathology*, 85, 1306–1310.

16. Zamorsky, V. V. (2005). Features of the methodology for studying the anatomical structure of structural elements of apple trees using computer technology. *Coll. Sci. Works of Uman State Agrarian University*, 59, 268–271. [in Ukrainian].

Annotation

Zamorsky I. V.

The effect of fertilizers anti-stress agents on the anatomical structure of apple tree shoots and leaves

The use of stress relief agents in gardening after drought or low temperatures is an important agrotechnical measure that helps plants recover faster, reduce crop losses, and improve their immunity to future stresses. Drought and cold lead to cell dehydration, inhibition of photosynthesis, a decrease in chlorophyll content in the foliage, hormonal imbalance, and, in general, a weakening of the immune system of fruit plants. Against this background, the absorption of nutrients during the growing season decreases sharply.

Three apple varieties were studied: Belida, Red Jonaprince, and Honeycrisp, which were grown on M.9 rootstock. Anti-stress fertilizers were applied—Ecoline Phosphite (K-Amino), Ecoline Universal Growth (Amino), and Polyactive Boost—using the foliar application method. An analysis of the anatomical parameters of shoots (bark, phloem, xylem, phloem vessels) and leaves (vein width, phloem, leaf thickness) in the studied varieties was performed. Various methods (field, laboratory) were used,

as well as statistical analysis of the results. Anatomical studies were conducted according to the methodology of Zamorsky V.V.

The study of cross sections of shoots of the Modi apple variety showed that in the variant with the use of the Universal Growth fertilizer, the most pronounced increase in the thickness of the phloem and phloem vessels (up to 32 μk) was observed. The mineral fertilizer "Phosphite" stimulated the development of xylem (1422 μk), while "Polyactive Boost" ensured moderate development of all tissues. In shoots of the Red Jonaprince variety, foliar application of fertilizer significantly increased the thickness of phloem and xylem. The highest values for xylem (1793 μk) and phloem (1748 μk) were observed in the variant with the application of Polyactive Boost. The mineral fertilizers Universal Growth and Phosphite enhanced the development of phloem vessels (up to 34 μk). A study of Honey Crisp shoots showed that the mineral fertilizer Polyactive Boost provided the highest increase in phloem thickness (up to 1771 μk), while Universal Growth stimulated xylem development (up to 1583 μk). The changes in the diameters of the phloem vessels were insignificant and did not exceed the limits of NIR_{05} .

Analysis of the data in Table 2 shows that all parameters were lowest in the Modi variety in the control variant. Foliar application of the Universal Growth fertilizer significantly increased the width of the vein (1272 μk) and phloem (730 μk), which exceeded the control by 2.3–3.6 times. The fertilizer "Fosfitny" caused a moderate growth of anatomical structures, and "Polyactive Boost" caused an increase, but less intense than "Universal Growth." Control leaves of the Red Jonaprince variety had average values for vein width (1036 μk) and phloem width (603 μk). The maximum values for the studied variety were obtained in the variant with foliar application of Universal Growth fertilizer – 1252 μk and 874 μk , respectively, which indicates a high response of the variety to foliar feeding. The mineral fertilizers "Fosfitny" and "Polyactive Boost" also increased the anatomical parameters of the leaves of the Red Jonaprince variety, but to a lesser extent. Measurements of the parameters of Honeycrisp apple leaves showed that the control leaves had the lowest values among the varieties studied. The highest values for vein width (946 μk) and leaf thickness (262 μk) were observed in the variant using Universal Growth fertilizer. Foliar application of the fertilizer "Fosfitny" provided a moderate increase, and "Polyactive Boost" had the strongest effect on leaf thickness (308 μk), which may indicate stimulation of the mesophyll.

Key words: apple tree, anti-stress fertilizers, anatomy of shoots, anatomy of leaves.