

КАЦАН В. А.¹, ПОТОПАЛЬСЬКИЙ А. І.^{1,2}, ЗАДОРЖНИЙ Б. О.¹¹ Інститут молекулярної біології і генетики НАН України,

Україна, 03143, м. Київ, вул. Заболотного, 150, ORCID: 0000-0002-9972-4353

² Інститут оздоровлення і відродження народів України,

Україна, 03143, м. Київ, вул. Заболотного, 150

✉ val.katsan@gmail.com

ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ТА РОСТУ ДОЧІРНИХ РОСЛИН У *KALANCHOE DAIGREMONTIANA* (RAIM.-HAMET & PERRIER) A. BERGER ЗА ДІЇ СКЛАДНИКІВ ІЗАТІЗОНУ, КОМПОЗИЦІЇ РОЗЧИННИКІВ ДМСО ТА ПЕГ 400

Мета. Дослідження адаптаційного морфогенезу в каланхое Дегремона при застосуванні складників Ізатізону, композиції розчинників ДМСО та ПЕГ 400 (D+P). **Методи.** Для дослідження впливу концентрації D+P на появу та розвиток дочірніх рослин було використано листки вибірки рослин каланхое однакового віку та походження, вирощених в лабораторних умовах методом ґрунтової культури. Для D+P було обрано такі ж величини розведення, як у попередньому дослідженні для Ізатізону [1].

Результати. Виявлено можливий вплив D+P як стресорів, яким притаманно спричиняти значний розмах мінливості щодо ініціації, розвитку та росту рослин у каланхое Дегремона. В залежності від концентрації та індивідуальної чутливості рослин, D+P виявили здатність як стимулювати, так і пригнічувати розвиток та ріст дочірніх рослин, але в більшості випадків такі ефекти не були статистично достовірними. **Висновки.** Стимулюючий ефект Ізатізону на процесі ініціації дочірніх рослин у каланхое та їх морфогенез і ростові процеси, виявлений нами раніше [1], зумовлюється, очевидно, N-метилізатин β-тіосемікарбазоном – похідним ізатину, який є відомим фітогормоном.

Ключові слова: Ізатізон, композиція розчинників ДМСО та ПЕГ 400, каланхое Дегремона, розвиток і ріст дочірніх рослин.

Характерною ознакою ветеринарного та лікарського препарату Ізатізону, розробленого А. І. Потопальським та Л. В. Лозюк, є досить широкий спектр дії: він є імуномодулятором, противірусним, антибактеріальним, протигрибковим та протипухлинним засобом [2] і водночас важливим адаптогеном для рослин [3–6]. Діючим началом Ізатізону є N-метилізатин β-тіосемікарбазон (марборан); до складу препарату входить також композиція розчинників D+P

(за співвідношення 1:3 відповідно) [2]. Широкий спектр дії препарату зумовлений тим, що він створений на основі ізатину, важливої сигнальної сполуки, притаманної рослинам, тваринам, людині та молюскам (згідно з [6]). Відомо, що ізатин є месенджером стресового сигналіngu в організмі ссавців, він здатний взаємодіяти з білками, ДНК, впливати на експресію генів; на його основі створені лікарські препарати, які володіють протисудомною, седативною, противірусною, імуностимулюючою та протипухлинною дією (згідно з [6]).

Для рослин ізатин є ауксиноподібним стимулятором росту [7, 8]. Будучи введеним іззовні, в організмі рослин ізатин зазвичай перетворюється в антранілову кислоту, яка є проміжним метаболітом біосинтезу індолілоцтової кислоти (ІОК) та триптофану [8, 9], але використовується у хлоропластах саме для біосинтезу ІОК [9]. На сьогодні на основі ізатину розроблено широкий спектр засобів захисту рослин від фітопатогенних вірусів, бактерій, грибів; створено гербіциди селективної дії, тощо (згідно з [6]).

Серед відомих досліджень біологічної активності Ізатізону на рослинах варто зазначити його виявлену здатність змінювати швидкість клітинних процесів у рослин, впливати на активність геному, зокрема на величину співвідношення РНК/ДНК [10]. Виявлена на рослинах тютюну та томатів антивірусна дія Ізатізону [4, 5] може проявлятися завдяки індукуванню системної набутої стійкості до фітопатогенів, а збереження стійкості до вірусів у наступному поколінні томатів [5] може свідчити про індуковані Ізатізоном адаптаційні епігенетичні перебудови в системах контролю імунітету рослин. Про можливість індукування препаратом адаптаційних епігенетичних перебудов може свідчити також прискорений ріст та розвиток, а також

© КАЦАН В. А., ПОТОПАЛЬСЬКИЙ А. І., ЗАДОРЖНИЙ Б. О.

підвищена зернова продуктивність злаків та можливість збереження таких ознак у наступних поколіннях після його застосування [3]. Це дає можливість висловити гіпотезу про можливий вплив Ізатізону на системи контролю ростових процесів та ланок метаболізму, які лежать в основі виявлення кількісних ознак і перебувають під контролем унікальних рослинних генів *hd-zip* родини [11]. Інтеграція сигналів від доквілля та адаптаційні перебудови відбуваються при поєднанні каскаду взаємодій факторів транскрипції в межах HD-Zip родини та із гормональним сигналіном. Завдяки такій взаємодії відбувається перепрограмування біосинтезу фітогормонів, їх розподілу в тканинах та контроль практично всіх процесів розвитку і виявлення кількісних ознак; виникають зміни, важливі для еволюції.

Заслугує на увагу також можлива участь в отриманні індукованих Ізатізоном змін сигнального шляху, який здійснюється за участю TOR кінази, є важливим регулятором метаболізму стосовно наявності поживних речовин, енергії, світла, характеру гормонального сигналіну та впливу на ріст і розвиток рослин, настання фаз розвитку [12]. Недавно відкритий вплив TOR як позитивного регулятора біосинтезу жирних кислот та ліпідів, що є важливим механізмом регуляції ростових процесів [13], та посттрансляційний механізм регуляції активності хлоропластів для захисту від фотооксидативного стресу [14].

Складники Ізатізону, розчинники ДМСО та ПЕГ400, також є біологічно активними сполуками [15–17], здатні слугувати тригерами стресових сигнальних шляхів, які в рослин перебувають під контролем унікальних гомеобоксних генів *hd-zip* родини [11].

Каланхое Дегремона (*Bryophyllum daigremontianum Berger*), якому притаманне поєднання соматичного ембріогенезу та морфогенезу *in vivo* [18] з утворенням цілком сформованих рослин по периметру листків зрілих рослин, що є адаптивним пристосуванням до посушливих умов доквілля, та досліджені генетичні системи регуляції такого унікального способу розмноження [18, 19], є зручною моделлю для дослі-

дження впливу адаптогенів на процеси росту та морфогенезу в рослин.

Вплив препарату Ізатізон на утворення та розвиток дочірніх рослин у каланхое Дегремона досліджений нами раніше [1]. Тому мета даного дослідження – виявлення можливого впливу складників Ізатізону, композиції D+P, на утворення та розвиток дочірніх рослин у каланхое Дегремона (*B. daigremontianum*).

Матеріали і методи

Для дослідження були використані листки, отримані від вибірки рослин каланхое одного віку й однакового походження. Рослини вирощували в горщиках із ґрунтом при кімнатній температурі та природному освітленні. Обрані розведення D+P були такими ж, як у попередньому дослідженні з Ізатізоном [1] і позначені такими ж цифрами (2–5; цифрою 1 – контроль). Листки, зрізані для отримання дочірніх рослин, експонували в чашках Петрі упродовж 1,5 місяця на дисках фільтрувального паперу, який попередньо змочували розведеними розчинами D+P. Для кожного із варіантів досліду та контролю було використано по 5 листків. Як елементи диференціації було обрано появу та розвиток перших 3-х пар листків.

Результати та обговорення

1. Ініціація дочірніх рослин у каланхое Дегремона та поява в них повної першої пари листків за дії складників Ізатізону, композиції розчинників D+P

За даних умов проведення досліджень нами не було виявлено суттєвого впливу D+P на появу в каланхое дочірніх рослин, які вже мали повну першу пару листків. У зв'язку зі значним розмахом варіації за даним показником у межах варіантів досліду виявлені відмінності не були статистично достовірними за винятком середнього розведення композиції розчинників, для якого виявився притаманним статистично достовірний негативний вплив або ж тенденція такого впливу (рис. 1).

2. Вплив композиції розчинників D+P на утворення дочірніх рослин у каланхое Дегремона, які вже мали 2-у пару листків

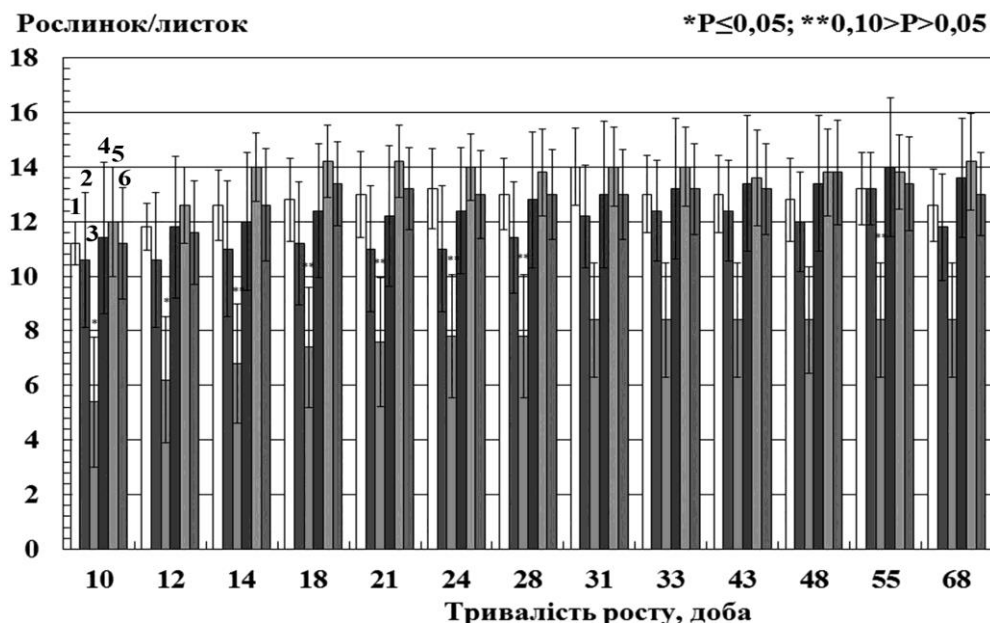


Рис. 1. Вплив композиції розчинників ДМСО та ПЕГ400 на утворення дочірніх рослин у каланхое Дегремона, які вже мали сформовану 1-у пару листків. Цифрами позначено: 1 – контроль, 2 – найменше розведення D+P, 3 – середнє розведення, 4–6 – найбільші розведення.

Упродовж дослідженого періоду спостерігати також значний розмах варіації щодо впливу композиції розчинників на утворення 2-ї пари листків у рослин каланхое (рис. 2), тому пригнічення такого розвитку вищими концентраціями D+P (варіанти 2, 3) не було статистично достовірним за винятком тенденції такого негативно-

го впливу, який проявлявся на 43-ю добу росту. Такий характер впливу, як і для впливу на розвиток повної 1-ї пари листків, зумовлений, очевидно, значними відмінностями чутливості рослин каланхое до дії стресорів, якими є ДМСО та ПЕГ400.

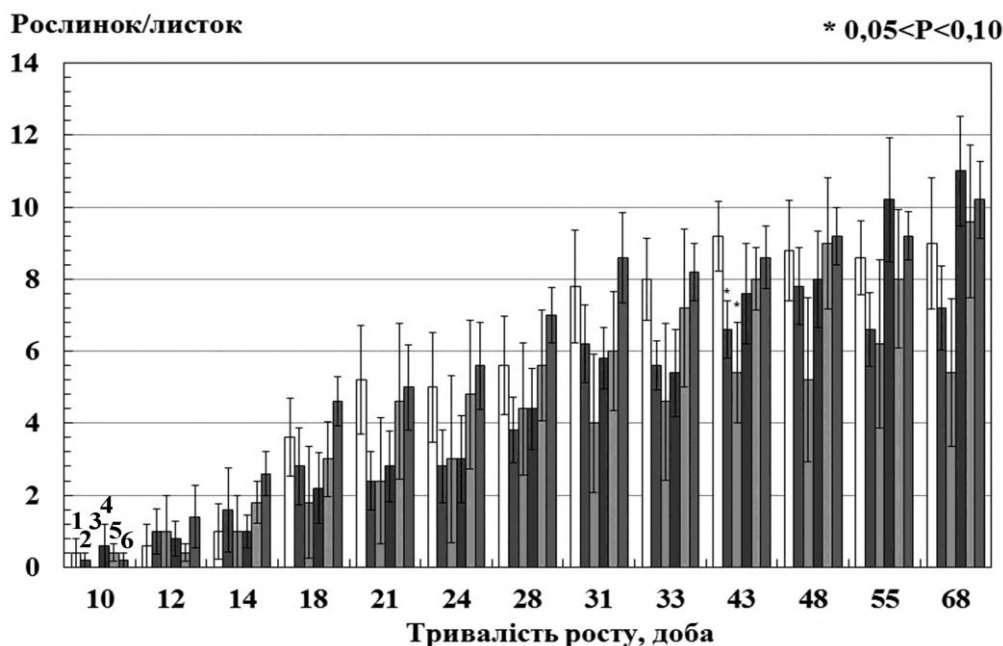


Рис. 2. Вплив композиції розчинників ДМСО та ПЕГ400 на утворення дочірніх рослин у каланхое Дегремона, які вже мають 2-у пару листків. Позначення варіантів як на рис. 1.

3. Вплив композиції розчинників D+P на утворення дочірніх рослин у каланхое Дегремона, які вже мали 3-ю пару листків

Заслуговує на увагу значно раніша (на 12 діб) поява 3-ї пари листків у рослин каланхое, особливо під впливом значних розведень композиції розчинників, але у зв'язку зі значним розмахом варіації даного параметра така стимуляція виявилася статистично достовірною тільки для одного з розведень D+P (рис. 3).

4. Вплив композиції розчинників D+P на ріст дочірніх рослин у каланхое Дегремона

Щодо впливу композиції D+P на процеси росту рослин каланхое варто зазначити появу на окремих листках у варіантах досліді, особливо із середнім та значними її розведеннями, рослин, які були значно більшими, ніж у контрольному варіанті (рис. 4), і така закономірність виявлялася на початку росту і спостерігалася упродовж всієї тривалості досліді.

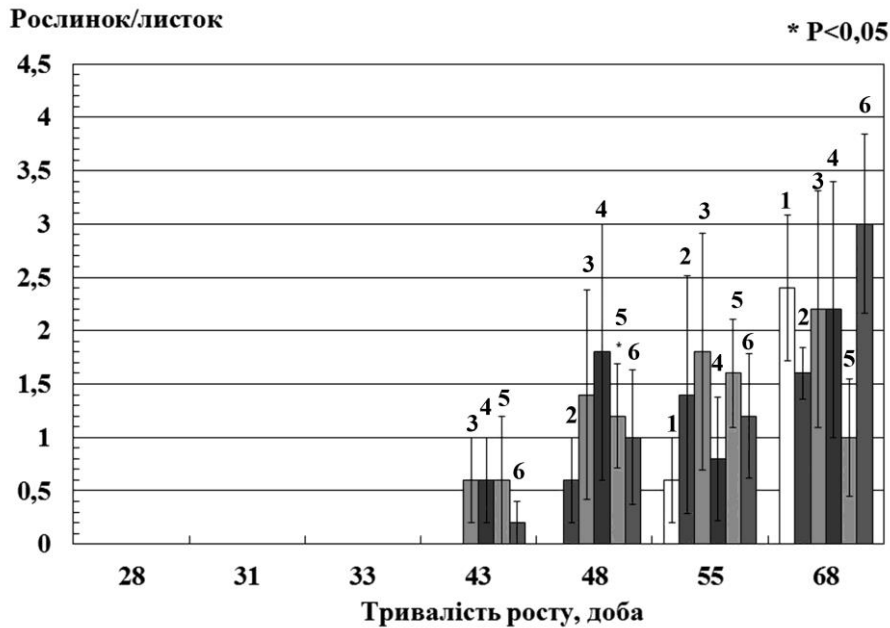


Рис. 3. Вплив композиції розчинників ДМСО та ПЕГ400 на утворення дочірніх рослин у каланхое Дегремона, які вже мають 3-ю пару листків. Позначення варіантів – як на рис. 1.



Рис. 4. Вплив композиції розчинників ДМСО та ПЕГ400 на ріст дочірніх рослин у каланхое Дегремона, 21 доба росту. Наведено для контролю та листків із дослідних варіантів, на яких утворилися більші дочірні рослини. Нумерація варіантів – як на рис. 1.

Висновки

У результаті проведених досліджень виявлено можливий вплив композиції ДМСО+ПЕГ400, які є складниками Ізатизону, як стресорів, яким притаманно спричиняти значний розмах мінливості щодо ініціації, розвитку та росту дочірніх рослин у каланхое Дегремона. В залежності від концентрації ДМСО+ПЕГ400 та індивідуальної чутливості рослин каланхое, можлива як стимуляція, так і пригнічення диференціації та росту дочірніх рослин, але такі зміни в переважній більшості випадків не є статис-

тично достовірними; вони можуть реалізуватися внаслідок індукованих перебудов у певних ланках стресових сигнальних шляхів, які перебувають під контролем гомеобоксних генів *hd-zip* родини.

Отже, стимулюючий ефект Ізатизону на процеси ініціації дочірніх рослин у каланхое Дегремона та їх морфогенезу й росту, виявлений нами раніше [1], зумовлюється, очевидно, N-метил ізатин β-тіосемікарбазоном – похідним ізатину, який є відомим фітогормоном.

References

1. Katsan V. A., Potopalsky A. I., Zadorozhnyi B. O. Influence of Izatison on growth and development of Plantlets in *Kalanchoe Daigremontiana* (Raim.-Hamet & Perrier) A. Berger. *Factors in Experimental Evolution of Organisms*. 2024. Vol. 35. P. 129–134. <https://doi.org/107124/FEEEO/V.35.1672>. [in Ukrainian]
2. Zaika L. A., Bolsunova O. I., Potopalsky A. I. Antiviral, antitumor and immunomodulatory properties of the medicinal preparation Izatison. Kyiv : Kolobig, 2010. 211 p. [in Ukrainian]
3. Katsan V. A., Yurkevich L. N., Potopalsky A. I. Izatison and nanosilver are able to induce the changes in growth and productivity of oat plant cultivar Neznamny persisting in the next generations. *Factors in Experimental Evolution of Organisms*. 2015. Vol. 16. P. 114–119. [in Ukrainian]
4. Kharina A. V., Kot T. G., Polischuk V. P., Zaets I. E., Chervatyuk N. V., Potopalsky A. I. Izatison as inhibitor of plant virus infections. *Microbiology and Biotechnology*. 2009. 2. P. 158–162. [in Ukrainian]
5. Potopalsky A. I., Katsan V. A., Yurkevich L. N., Lozyuk L. V. Method of increase of plant productivity and disease resistance: Patent for utility model 38265 Ukraine. No u200810756; applied on 28.08.2008, published on 25.12.2008, bulletin № 24. [in Ukrainian]
6. Katsan V. A., Potopalsky A. I., Zadorozhnyi B. O. Influence of Izatison concentration on the growth and the grain productivity of the oat cultivar Neznamni. *Grail of Science*. 2021. 5. P. 73–80. [in Ukrainian]
7. Galston A. W., Chen H. R. Auxin Activity of Isatin and Oxindole-3-Acetic Acid. *Plant Phy*. 1965. Vol. 40 (4). P. 699–705. <https://doi.org/10.1104/pp.40.4.699>.
8. Kutacek M., Galston A. W. The metabolism of ¹⁴C-labeled Isatin and Anthanilate in Pisum stem sections. *Plant Phy*. 1968. Vol. 43 (11). P. 1793–1798. <https://doi.org/10.1104/pp.43.11.1793>.
9. Mano Y., Nemoto K. The pathway of auxin biosynthesis in plants. *J. Exp. Bot*. 2012. Vol. 63 (8). P. 2853–2872. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers091>.
10. Martynenko O. I., Kurylenko T. K., Stepanyugin A. V., Plodnik D. P., Hovorun D. M. Quantitative estimation of genetically determined response in wheat leaves to the impact of chemical factors. *Ukrainica Bioorganica Acta*. 2013. Vol. 11 (2). P. 21–24. [in Ukrainian]
11. Sessa G., Carabelly M., Sassi M. The Ins and Outs of Homeodomain-Leucine Zipper/Hormone Networks in the Regulation of Plant Development. *Int. J. Mol. Sci*. 2024. Vol. 25 (11). 5657. <https://doi.org/10.3390/ijms25115657>.
12. Yue Wu, Lin Shi, Lei Li, Liwen Fu, Yanlin Liu, Yan Xiong, Jen Sheen Integration of nutrient, energy, light, and hormone signalling via TOR in plants. *J Exp Bot*. 2019. Vol. 70 (8). P. 2227–2238. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz028>.
13. Liu H., Blanford J., Shi H., Schwender J., Shancling J., Zhai Z. The target of rapamycin kinase is a positive regulator of plant fatty acid and lipid synthesis. *Plant Physiol*. 2025. Vol. 197 (2). kiae639. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiae639>.
14. D'alessandro S., Velay F., Lebrun R., Zafirov D., Mehrez M., Romand S., Saadouni R., Forzani C., Yterne S., [...] Field B. Posttranslational regulation of photosynthetic activity via the TOR kinase in plants. *Science Advances*. 2024. Vol. 10 (25). ead3268. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adj3268>.
15. Tuncer S., Gurbanov R., Sheraj I., Solel I., Esenturk O., Banerjee S. Low dose dimethyl sulfoxide driven gross molecular changes have the potential to interfere with various cellular processes. *Sci. Reports*. 2018. Vol. 8 (1). 14828. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33234-z>.
16. Sajid M., Ahmed S., Sardar R., Ali A., Yasin N. A. Role of polyethylene glycol to alleviate lead stress in *Raphanus sativus*. *Peer J*. 2025. Vol. 13. e18147. <http://doi.org/10.7717/peerj.18147>.
17. Zhao Q., Xiong H., Yu H., Wang C., Zhang S., Hao J., Wang J., Zhang H., Zhang L. Function of MYB8 in larch under PEG simulated drought. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14:112190. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61510-8>.
18. Garcès H. M. P., Koenig D., Townsley B. T., Kim M., Sinha N. R. Truncation of LEAFY COTYLEDON1 protein is required for asexual reproduction in *Kalanchoë daigremontiana*. *Plant Physiology*. 2014. Vol. 165 (1). P. 196–206. <https://doi.org/10.1104/pp.114.237222>.
19. Zhu Ch., Wang L., Chen J., Liu Ch., Zeng H., Wang H. Over-expression of *KdSOC1* gene affected plantlet morphogenesis in *Kalanchoe daigremontiana*. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7 (1). 5629. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04387-0>.

KATSAN V. A.¹, POTOPALSKY A. I.^{1, 2}, ZADOROZHNI B. O.^{1, 2}

¹ Institute of Molecular Biology and Genetics of Natl. Acad. Sci. of Ukraine, Ukraine, 03143, Kyiv, Akademika Zabolotnogo str., 150

² Institute of health improvement and rebirth of the peoples of Ukraine, Ukraine, 03680, Kyiv, Akademika Zabolotnogo str., 150

THE GROWTH AND THE DEVELOPMENT OF PLANTLETS IN *KALANCHOE DAIGREMONTIANA* (RAIM.-HAMET & PERRIER) A. BERGER UNDER THE INFLUENCE OF IZATISON COMPONENTS, THE COMPOSITION OF THE SOLVENTS DMSO AND PEG 400

Aim. Research of the adaptive morphogenesis in *Kalanchoe Daigremontiana* under the action of Izatison components, the composition of the solvents DMSO and PEG 400 (D+P). **Methods.** The leaves of *Kalanchoe* plants of the same age and origin, grown in laboratory condition by the method of soil culture, were used for the investigation. For D+P, the same dilutions values as in previous study for Izatison were chosen. **Results.** The possible impact of D+P as stressors, which are inherent in causing a significant range of variability regarding the initiation, development and growth of the plantlets in *Kalanchoe Daigremontiana*, was revealed. Depending of the D+P concentration and of the individual susceptibility of the *kalanchoe* plants, D+P showed the ability to both stimulate and inhibit the development and growth of the plantlets, but in most cases such effects were not statistically significant. **Conclusions.** Hence, the stimulatory effect of Izatison on the appearance of plantlets in *Kalanchoe Daigremontiana* and their morphogenesis and growth, revealed by us earlier, is due, apparently, to N-methyl isatin β -thiosemicarbazone, a derivative of isatin, which is a known phytohormone.

Keywords: Izatison, composition of DMSO and PEG 400, *Kalanchoe Daigremontiana*, development and growth of plantlets.