QO‘QON DAVLAT PEDAGOGIKA INSTITUTI ILMIY XABARLARI
(2026-yil 10-son)

TABIIY FANLAR

NATURAL SCIENCES

https://doi.org/10.70728/a.series.tab.v08.i10.103

UDK 573.6:581.085:633.51

G‘O‘ZA (*Gossypium hirsutum* L.) TO‘QIMALARI KULTURASIDA KALLUSOGENEZ VA SOMATIK EMBRIOGENEZ UCHUN OZUQA MUHITINI OPTIMALLASHTIRISH

***I.E.Bozorov*[1], *M.M.Darmanov*[2] ,**
[1]*O‘zR FA Genomika va bioinformatika markazi, Qibray, O‘zbekiston*
[2]*O‘zbekiston Respublikasi Qishloq Xo‘jaligi Vazirligi, Qibray, O‘zbekiston*
Email: bilhomjon9508@gmail.com

Annotatsiya. G‘o‘zada kallusogenez va somatik embriogenez jarayonlari o‘simlik to‘qimalarini laboratoriya sharoitida o‘stirish va ulardan yangi o‘simliklar olishda muhim ahamiyatga ega. Ushbu jarayonlarning samaradorligi eksplant turi, ozuqa muhitining tarkibi va o‘stiruvchi moddalar konsentratsiyasiga bog‘liq. Shu sababli, kallus va somatik embrionlar hosil bo‘lishi uchun maqbul sharoitlarni aniqlash g‘o‘za to‘qimalarini o‘stirish usullarini takomillashtirishga yordam beradi. Mazkur tadqiqotda Coker-312 g‘o‘za genotipining gipokotil eksplantlarida kinetinning turli konsentratsiyalari kallusogenez va somatik embriogenez jarayonlariga qanday ta’sir ko‘rsatishi o‘rganildi. Tajriba davomida 2,4-D konsentratsiyasi va MS ozuqa muhitini miqdori o‘zgarmas holda saqlanib, kinetinning 0 dan 1,0 mg/L gacha bo‘lgan turli konsentratsiyalarini o‘z ichiga olgan olti xil ozuqa muhitlaridan foydalanildi. Kallus hosil bo‘lishining eng yuqori ko‘rsatkichi MS3 ozuqa muhitida qayd etildi. Ushbu natija ozuqa muhitidagi 2,4-D va kinetin konsentratsiyalari o‘rtasidagi nisbat kallusogenez va somatik embriogenez jarayonlariga ta’sir etish mumkinligini ko‘rsatdi.

***Kalit so‘zlar*:**; kallus induksiyasi; somatik embriogenez, Coker-312; kinetin; *Gossypium hirsutum* , *in vitro*.

Аннотация. Процессы каллусогенеза и соматического эмбриогенеза у хлопчатника имеют важное значение при культивировании растительных тканей в лабораторных условиях и получении из них новых растений. Эффективность этих процессов зависит от типа экспланта, состава питательной среды и концентрации регуляторов роста. Поэтому определение оптимальных условий для образования каллуса и соматических эмбрионов способствует совершенствованию методов культивирования тканей хлопчатника. В данном исследовании изучали влияние различных концентраций кинетина на каллусогенез и соматический эмбриогенез в

гипокотильных эксплантах генотипа хлопчатника Coker-312. В ходе эксперимента концентрации 2,4-Д и состав среды MS оставались неизменными, а кинетин использовали в различных концентрациях в диапазоне от 0 до 1,0 мг/л. Всего было использовано шесть вариантов питательной среды. Наибольший показатель образования каллуса был отмечен на питательной среде MS3. Полученные результаты указывают на то, что соотношение концентраций 2,4-Д и кинетина в питательной среде может влиять на процессы каллусогенеза и соматического эмбриогенеза.

Ключевые слова: индукция каллуса; соматический эмбриогенез; Coker-312; кинетин; *Gossypium hirsutum*; *in vitro*.

Annotation. Callus formation and somatic embryogenesis in cotton are important processes for the in vitro cultivation of plant tissues and the regeneration of new plants. The efficiency of these processes depends on the type of explant, the composition of the culture medium, and the concentrations of plant growth regulators. Therefore, identifying suitable conditions for callus and somatic embryo formation can help improve cotton tissue culture methods. This study investigated the effects of different kinetin concentrations on callus formation and somatic embryogenesis in hypocotyl explants of the Coker-312 cotton genotype. During the experiment, the concentration of 2,4-D and the composition of the MS medium were kept constant, while kinetin concentrations ranged from 0 to 1.0 mg/L. Six different culture media were used. The highest callus formation rate was recorded on MS3 medium. These results indicate that the balance between 2,4-D and kinetin concentrations in the culture medium may influence callus formation and somatic embryogenesis.

Keywords: callus induction; somatic embryogenesis; Coker-312; kinetin; *Gossypium hirsutum*; *in vitro*.

Kirish. Qishloq xo‘jaligida g‘o‘za, bug‘doy va makkajo‘xori kabi iqtisodiy jihatdan yuqori qiymatga ega o‘simliklar o‘sib borayotgan aholini oziq-ovqat maxsulotlari bilan taminlovchi asosiy ekinlardan hisoblanadi [1]. Ayniqsa, g‘o‘za o‘simligining maxsuloti bo‘lgan paxta to‘qimachilik sanoatini tabiiy xom-ashyo maxsuloti bilan taminlash bo‘yicha tolali ekinlar orasida birinchi o‘rinda bo‘lib, jahon miqyosida uning ikkilamchi maxsulotlaridan olinadigan yillik daromad taxminan 500 milliard US$ tashkil qiladi [2]. Bu paxta ekinining iqtisodiy qiymatini va unga bo‘lgan talabni yanada oshishiga sabab bo‘ladi. Ammo, paxta etishtirishda tashqi biotik omillarning ta’siri uning hosildorligi va tola sifatini keskin tushishiga sabab bo‘lmoqda [3]. Natijada, paxta ishlab chiqaruvchi mamlakatlarda xosilning zararlanish ko‘rsatkichi o‘rtacha 10-30% gacha yetishi mumkinligi ma’lum qilingan [4].

O‘simlik to‘qimalari kulturasi o‘simlik hujayralari, to‘qimalari va organlarini aseptik in vitro sharoitida nazorat ostida o‘stirish hamda ulardan biotexnologik maqsadlarda foydalanish imkonini beruvchi muhim usullardan biridir. Ushbu texnologiyaning rivojlanishi kallusogenez va somatik embriogenez jarayonlarini chuqur o‘rganish uchun ilmiy asos yaratdi. Kallusogenez o‘simlik to‘qimalari kulturasining muhim bosqichlaridan biri bo‘lib, somatik embriogenez va genetik transformatsiya jarayonlarida foydalaniladigan boshlang‘ich biologik materialni olish imkonini beradi.

O‘simlik to‘qimalari kulturasining dastlabki nazariy asoslari Haberlandt tomonidan ishlab chiqilgan [5]. Keyinchalik Gautheret va White tomonidan olib borilgan tadqiqotlar o‘simlik to‘qimalaridan kallus kulturasini olish usullarining rivojlanishiga katta hissa qo‘shdi [6,7]. Somatik embriogenez sohasida Steward va Reinert tomonidan olib borilgan tadqiqotlar somatik hujayralardan embrionga o‘xshash tuzilmalarning rivojlanishini o‘rganishda muhim ahamiyat kasb etdi [8,9]. Keyingi tadqiqotlarda ushbu yondashuvlar g‘o‘zaning *Gossypium klotzschianum* va *Gossypium hirsutum* turlarida kallus hujayralaridan somatik embrionlar hosil bo‘lishi va o‘simliklarning regeneratsiya jarayonlarini o‘rganishda qo‘llanildi [10,11]. Trolinder va Goodin tomonidan olib borilgan tadqiqotlar g‘o‘zada somatik embriogenez va o‘simlik regeneratsiyasi usullarini takomillashtirishda muhim o‘rin tutdi [12]. Ushbu ishlar g‘o‘zani in vitro sharoitida regeneratsiya qilish bo‘yicha keyingi tadqiqotlar uchun ilmiy asos bo‘lib xizmat qildi. Shu sababli, kallus induksiyasi uchun maqbul va samarali sharoitlarni aniqlash o‘simliklarni in vitro ko‘paytirish hamda genetik transformatsiya usullarini takomillashtirishning muhim shartlaridan biri hisoblanadi [13,14].

G‘o‘za (*Gossypium hirsutum* L.)da regeneratsiya va genetik transformatsiya samaradorligi genotip, eksplant turi va ozuqa muhitiga bog‘liq ravishda turlicha ekanligi aniqlangan. Xususan, gipokotil va kotiledonlar bir xil ozuqa muhitida o‘stirilganda kallusogenez jarayonining samaradorligi xar xil ekanligi tadqiqotlarda ko‘rsatib berilgan [15,16]. Bundan tashqari, 2,4-D (2,4-dicholorophenoxy acetic acid) , BAP (6 benzyl aminopurine), ZT (Zeatin) (NAA naphthalene acetic acid) va IAA (indole-3-acetic acid) kabi o‘simlik o‘stiruvchi regulyator gormonlarini ozuqa muhitiga turli xil nisbatda qo‘shilishi kallusogenez va somatik embriogenez jarayonlariga sezilarli darajada ta’sir etgan [17-21].

Kallusogenez jarayonini baholashda kallus hosil bo‘lish chastotasi bilan bir qatorda, uning yangi massa to‘plash ko‘rsatkichini ham hisobga olish muhimdir. Shuningdek, o‘simlik to‘qimalari kulturasida qo‘llaniladigan fitogormonlarning turli konsentratsiyalari eksplantlarning kallusogenez va somatik embriogenez jarayonlariga ta’sirini o‘rganish alohida ahamiyatga ega. Ushbu tadqiqotda in vitro sharoitida Coker-312 g‘o‘za genotipining gipokotil eksplantlarida kinetinning turli konsentratsiyalari kallusogenez hamda somatik embriogenez jarayonlariga ta’siri o‘rganildi. Olingan natijalar Coker-312 genotipi uchun kallus hosil bo‘lishi va somatik embrionlar shakllanishiga maqbul sharoitlarni aniqlash, shuningdek, keyingi bosqichlarda o‘simlik regeneratsiyasi va genetik transformatsiya usullarini takomillashtirish uchun ilmiy asos yaratishi mumkin.

Material va metod. Ushbu tadqiqotda, somatik embriogenez jarayonida embrion hosil qiluvchi Coker-312 liniyasi O‘zbekiston Respublikasi fanlar akademiyasi genomika va bioinformatika markazining germaplazmasidan olindi va tadqiqot materiali sifatida foydalanildi.

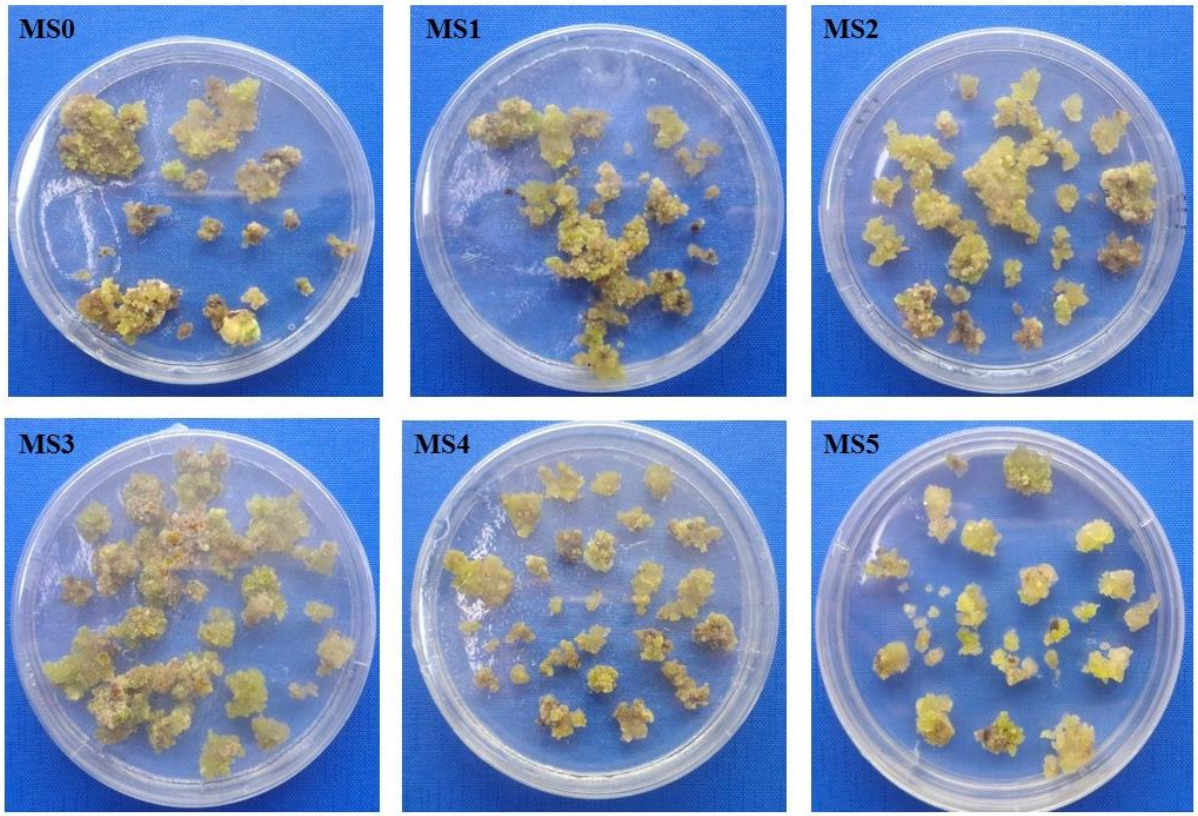
In vitro tadqiqoti uchun urug‘larni sterilizatsiya qilish ishlari ma’lum bir o‘zgartirishlar bilan [15] tomonidan tasvirlanganidek olib borildi. Bunga ko‘ra, H_2SO_4 eritmasi yordamida tuksizlantirilgan Coker 312 liniyasining uurg‘lari dastlab 70% etanol (10 sec) va keyinchalik 3% vodorod peroksid (5 min) ishlov berildi va keyin urug‘lar oqar suvda 10 min davomida 3-4 marta yuvildi. Shundan so‘ng, sterilizatsiya qilingan urug‘lar maxsus Climate Incubatorda (Made in China, Model:BJPX-A400E) undirildi va g‘o‘za nihollarini o‘sishi

uchun ozuqa (MS salts, B5 vitamins, 100 mg/l myo-inositol, and 15 g/l sucrose (pH 5.6))ni o‘z ichiga olgan 700 ml hajmli test botllari (75 x 110 mm)ga ko‘chirildi. Urug‘larni normal holatda o‘sishi uchun, Climate Incubatorda harorat (25-28 ^{0}C) va yorug‘likni davomiyligi hamda intensivligi (yorug‘lik 16/ qorong‘ulik 8 va yorug‘lik intensivligi 60 μmol/m²/s.) optimal holatda saqlandi.

Nihollar unib chiqqanidan 8–10 kun o‘tgach, kallus induksiyasi uchun 5–6 mm uzunlikdagi gipokotil bo‘laklari ajratib olindi. Tayyorlangan eksplantlar tarkibida 4,31 g/l MS (Murashige va Skoog) mineral tuzlari, 30 g/l saxaroza va 10 g/l fito-agar mavjud bo‘lgan kallus hosil qiluvchi yangi ozuqa muhitlariga joylashtirildi [22]. Kallus induksiyasi jarayonida o‘simlik o‘sish regulyatorlari sifatida 2,4-dixlorfenoksisirka kislota (2,4-D) va kinetindan foydalanildi. Eksplantlarda kallus hosil bo‘lishini baholash uchun barcha tajriba variantlarida 2,4-D konsentratsiyasi 0,1 mg/L darajasida o‘zgarmas saqlandi, kinetin konsentratsiyasi esa 0; 0,1; 0,25; 0,5; 0,75 va 1,0 mg/L miqdorlarida belgilandi. Kinetin konsentratsiyasining kallusogenez jarayoniga ta’sirini baholash uchun ozuqa muhitlari oltita tajriba variantiga ajratildi: MS0 - kinetin qo‘shilmagan nazorat muhiti; MS1 - 0,1 mg/L kinetin; MS2 - 0,25 mg/L kinetin; MS3 - 0,5 mg/L kinetin; MS4 - 0,75 mg/L kinetin; MS5 - 1,0 mg/L kinetin. Barcha variantlarda 2,4-D konsentratsiyasi 0,1 mg/L darajasida saqlandi. Kinetinning turli konsentratsiyalarida hosil bo‘lgan kalluslarda somatik embriogenez jarayonini kuzatish maqsadida kalluslar R5 ozuqa muhitiga ko‘chirildi. R5 muhiti quyidagi tarkibga ega edi: MS tuzlari - 4,31 g/L, Gamborg vitaminlari eritmasi - 1 mL/L, KNO_3 - 1,9 g/L, $MgCl_2$ - 0,75 mg/L, maltoza - 3% va Phytagel - 0,2%. Somatik embriogenez jarayonini baholashda R5 muhitiga qo‘shimcha o‘stiruvchi moddalar kiritilmadi. Tadqiqotda foydalanilgan har bir ozuqa muhitlarining pH qiymati avtoklavlashdan oldin 5,5–5,8 oralig‘ida sozlandi. Ozuqa muhitlari Avtoclavda (BIOBASE BKQ-B50V, Made in China) 121 °C haroratda 15 min sterilizatsiya qilindi. Shuningdek, o‘simlik o‘sish regulyatorlari ozuqa muhitiga avtoklavlashdan oldin qo‘shildi.

Statistik tahlillar ANOVA dasturida t-test mezonidan foydalanilgan holda amalga oshirildi. Tahlillar uchta biologik takrorda o‘tkazildi, bunda har bir biologik takror 10 ta texnik takrorni o‘z ichiga oladi.

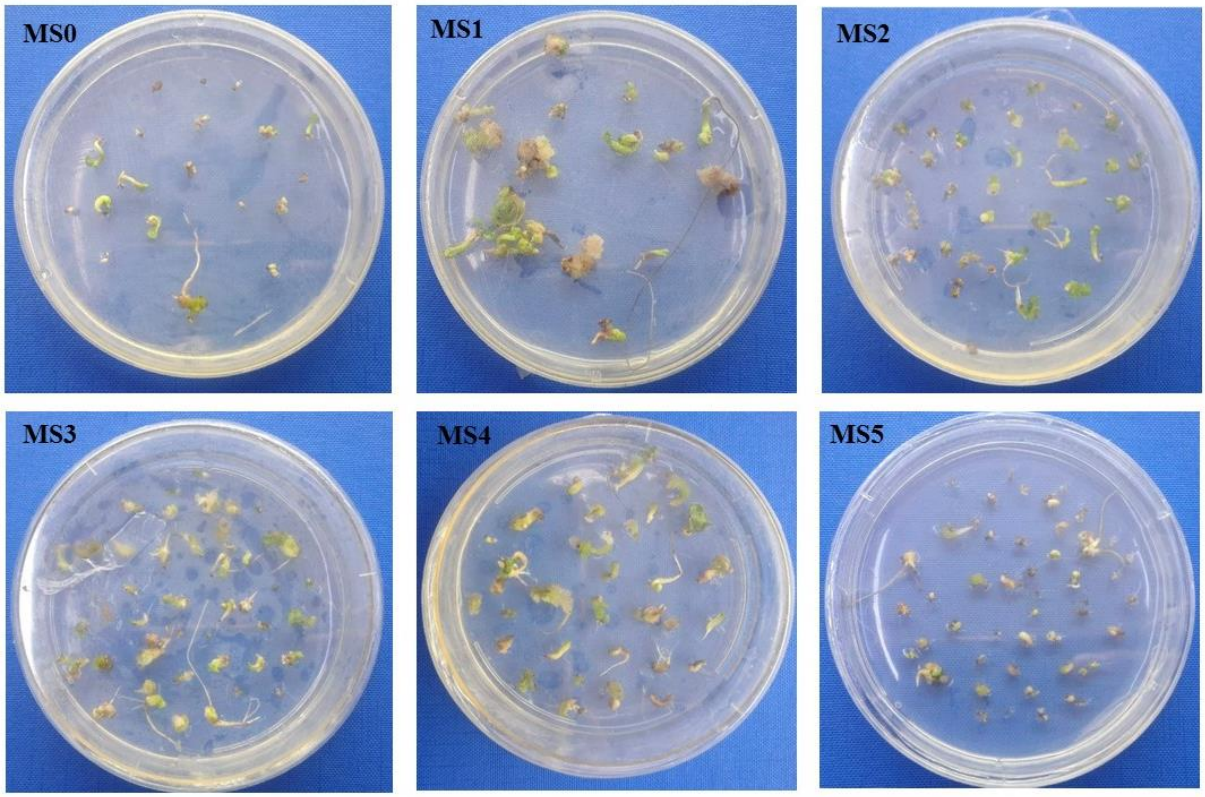
Tadqiqot natijalari. Coker-312 g‘o‘za genotipining gipokotil qismlarida kallus induksiyasi tekshirish uchun, olingan eksplantlar kinetinning turli konsentratsiyalarini saqlagan M0 - M5 ozuqa muhitlarida o‘stirildi. Ozuqa muhitlariga ekilgan explantlarning 8- va 10-kunidan boshlab kallus to‘qimasining shakllanishi kuzatildi. Eksplantlarning kallus hosil qilish qobiliyati va ularning massasi M0 - M5 ozuqa muhitlarida turlicha ekanligi aniqlandi (Rasm-1).



Rasm-1. G‘o‘za gipokotil ekspantlarini kinetinning turli xil konsentratsiyali ozuqasida kallus xosil qilish.

MS0–MS5 ozuqa muhitlarida o‘stirilgan Coker-312 g‘o‘za gipokotil eksplantlarining kallus to‘qimasining massasi aniqlashga qaratilgan kuzatuv natijalariga ko‘ra, kallus biomassasining to‘planishi ozuqa muhitining gormonal tarkibiga bog‘liq ekanligini ko‘rsatdi. Gipokotil eksplantlarida kallus massasining eng yuqori ko‘rsatkichi MS3 ozuqa muhitida qayd etildi. Ushbu muhitda hosil bo‘lgan kalluslarning yangi massasi boshqa tajriba muhitlaridagi ko‘rsatkichlardan yuqori bo‘ldi. Bu holat MS3 muhitidagi kinetin konsentratsiyasi gipokotil eksplantlarida kallus biomassasining to‘planishi uchun qulay sharoit yaratgan bo‘lishi mumkinligini ko‘rsatadi. Boshqa ozuqa muhitlarida kalluslarning yangi massasi ko‘rsatkichlarining nisbatan past bo‘lishi esa kinetin konsentratsiyasining miqdoriga bog‘liq bo‘lishi mumkinligi taxmin qilindi.

Kallus hosil qilgan gipokotil eksplantlari somatik embrionlar hosil bo‘lishini kuzatish maqsadida R5 ozuqa muhitiga ko‘chirildi. Dastlab kinetinning turli konsentratsiyalarini saqlagan ozuqa muhitlarida o‘stirilgan kalluslar keyinchalik g‘o‘zani genetik transformatsiya qilish jarayonida foydalaniladigan, qo‘shimcha o‘stiruvchi gormonlar kiritilmagan R5 muhitida o‘stirildi. Ushbu yondashuv kinetinning kallusogenez bosqichidagi turli konsentratsiyalari keyingi somatik embriogenez jarayoniga qanday ta’sir ko‘rsatishini kuzatish imkonini berdi. R5 ozuqa muhitiga ko‘chirilgandan ma’lum vaqtdan so‘ng, kalluslarda somatik embrionlar shakllana boshladi (Rasm-2).



Rasm-2 G‘o‘za gipokotil kalluslaridan somatik embrionlarni shakllanishi.

Olingan natijalarga ko‘ra, MS3 muhitida, ya’ni 0,1 mg/L 2,4-D va 0,5 mg/L kinetin saqlagan muhitda o‘stirilgan kalluslarda somatik embrionlar hosil bo‘lishi uchun eng qulay sharoit kuzatilganini ko‘rsatdi. Ushbu natija kallusogenez bosqichida kinetinning maqbul konsentratsiyasidan foydalanish keyingi somatik embriogenez jarayoniga ijobiy ta’sir ko‘rsatishi mumkinligini anglatadi. Boshqa ozuqa muhitlarida o‘stirilgan kalluslarda somatik embrionlarning shakllanishi nisbatan sekin kechgan bo‘lsa, MS3 muhitida o‘stirilgan kalluslar keyingi regeneratsiya bosqichi uchun istiqbolli biologik namuna sifatida baholandi. G‘o‘zada kallusogenez va somatik embriogenez jarayonlarining sodir bo‘lishiga ozuqaning miqdoriy tarkibi sezilarli darajada ta’sir etadi. Kinetinni turli xil o‘simlik o‘stiruvchi gormonlar bilan hosil qilgan kombinatsiyasi kallusogenz va somatik embriogenez jarayonlarini turlicha kechishiga sabab bo‘lishi ma’lum qilingan [23-25].

Ushbu tadqiqotda Coker-312 g‘o‘za genotipida kinetin konsentratsiyasining kallusogenez va somatik embriogenez jarayonlariga ta’siri gipokotil eksplantlarida hosil bo‘lgan kalluslarning yangi massasi hamda somatik embrionlarning shakllanishi asosida baholandi. G‘o‘za to‘qimalari kulturasi bo‘yicha olib borilgan tadqiqotlariga ko‘ra, ozuqa muhitida 2,4-D va kinetinning turli nisbatdagi konsentratsiyasi kallus induksiyasi va proliferatsiyasiga ta’sir qilishini ko‘rsatadi. Bunga ko‘ra, *Gossypium hirsutum* g‘o‘zasida o‘tkazilgan tadqiqotlarga ko‘ra, 2,4-D va kinetinning gormonlarining o‘zaro xar xil nisbatdagi kombinatsiyasi gipokotil eksplantlarida yuqori kallus massasiga sabab bo‘lishi aniqlangan. Bunga ko‘ra, 2,4-D va kinetinning nisbati mos ravishda 0,1 mg/l va 0,5 mg/l bo‘lgan ozuqa muhitida o‘stirilgan eksplantlar yuqori kallus induksiya ko‘rsatkichini namoyon qilgan [26]. Yuqorida keltirilgan tadqiqotlar natijalariga muvofiq, bizning tadqiqotimizda ham 2,4-D (0,1 mg/L) va kinetin (0,5 mg/L) gormonlari kombinatsiyasi qo‘llanilgan MS3 ozuqa muhitida kultivatsiya qilingan g‘o‘za gipokotil eksplantlarida

kalluslarning sof og‘irlik massa ko‘rsatkichi boshqa ozuqa muhitlariga nisbatan yuqoriroq bo‘lishi aniqlandi. Aksincha, kinetinning yuqori va past konsentratsiyalarini o‘z ichiga olgan ozuqa muhitlarida kultivatsiya qilingan gipokotil eksplantlarida kalluslarning massa ko‘rsatkichi MS3 muhitiga nisbatan pastroq bo‘ldi. Shunigdek, R5 ozuqa muhitiga MS ozuqa muhitidan olingan kallus hujayralarining somatik embrionlarni hosil bo‘lishi boshqa ozuqa muhitlariga nisbatan tezroq va ko‘proq ekanligi aniqlandi.

Xulosa. Tadqiqot natijalari Coker-312 g‘o‘za genotipining gipokotil eksplantlarida kallusogenez hamda somatik embriogenez jarayonlari ozuqa muhitidagi o‘stiruvchi moddalar konsentratsiyasiga bog‘liqligini ko‘rsatdi. 2,4-D ning 0,1 mg/L va kinetinning 0,5 mg/L konsentratsiyalarini saqlagan MS3 ozuqa muhiti kallus hosil bo‘lishi va keyingi somatik embriogenez jarayoni uchun boshqa tajriba variantlariga nisbatan optimal sharoitni ta’minladi. Kinetinning past va yuqori konsentratsiyalarida esa kallusogenez ko‘rsatkichlarining pasayishi kuzatildi. Ushbu natijalar ozuqa muhitidagi o‘stiruvchi moddalar konsentratsiyasini to‘g‘ri tanlash kallusogenez va somatik embriogenez samaradorligini oshirishda muhim ahamiyatga ega ekanligini ko‘rsatadi. Shunday qilib, MS3 ozuqa muhiti Coker-312 genotipida g‘o‘za to‘qimalari kulturasini rivojlantirish, somatik embrionlar hosil bo‘lishini ta’minlash hamda genetik transformatsiya va o‘simlik regeneratsiyasi usullarini takomillashtirish uchun istiqbolli metod sifatida baholanishi mumkin.

ADABIYOTLAR RO‘YXATI

1. Akın S. The Strategic Importance of Cotton Production for the World and Türkiye. Agricultural Sciences. IntechOpen; 2024. https://doi.org/10.5772/intechopen.114084

2. Chen ZJ, Scheffler BE, Dennis E, Triplett BA, Zhang T, Guo W, Chen X, Stelly DM, Rabinowicz PD, Town CD, Arioli T, Brubaker C, Cantrell RG, Lacape JM, Ulloa M, Chee P, Gingle AR, Haigler CH, Percy R, Saha S, Wilkins T, Wright RJ, Van Deynze A, Zhu Y, Yu S, Abdurakhmonov I, Katageri I, Kumar PA, Mehboob-Ur-Rahman, Zafar Y, Yu JZ, Kohel RJ, Wendel JF, Paterson AH. Toward sequencing cotton (*Gossypium*) genomes. Plant Physiol. 2007 Dec;145(4):1303-10. doi: 10.1104/pp.107.107672.

3. Ayele AG, Wheeler TA, Dever JK. Impacts of Verticillium Wilt on Photosynthesis Rate, Lint Production, and Fiber Quality of Greenhouse-Grown Cotton (*Gossypium hirsutum*). Plants (Basel). 2020 Jul 7;9(7):857. doi: 10.3390/plants9070857.

4. Hussain, M., Gao, X., Qin, D., Qin, X., & Wu, G.. Role of Biotic and Abiotic Factors for Sustainable Cotton Production. In Agricultural Sciences. IntechOpen; 2024 https://doi.org/10.5772/intechopen.111914

5. . Haberlandt G. Culturversuche mit isolierten Pflanzenzellen. Sitzungsberichte. 1902;111:69–91. Available from: https://www.biodiversitylibrary.org/part/233868

6. Gautheret RJ. Sur la possibilité de réaliser la culture indéfinie des tissus de tubercules de carotte. C R Hebd Seances Acad Sci. 1939;208:118–120.

7. White PR. Potentially unlimited growth of excised plant callus in an artificial nutrient. Am J Bot. 1939;26:59–64. doi:10.1002/j.1537-2197.1939.tb12867.x

8. Steward FC, Mapes MO, Mears K. Growth and organized development of cultured cells. II. Organization in cultures grown from freely suspended cells. Am J Bot. 1958;45:705–708. doi:10.1002/j.1537-2197.1958.tb10599.x

9. Reinert J. Über die Kontrolle der Morphogenese und die Induktion von Adventivembryonen an Gewebekulturen aus Karotten. Planta. 1959;53:318–333.

10. Price HJ, Smith RH. Somatic embryogenesis in suspension cultures of *Gossypium klotzschianum* Anderss. Planta. 1979;145:305–307. doi:10.1007/BF00454456

11. Davidonis GH, Hamilton RH. Plant regeneration from callus tissue of *Gossypium hirsutum* L. Plant Sci Lett. 1983;32:89–93. doi:10.1016/0304-4211(83)90102-5

12. Trolinder NL, Goodin JR. Somatic embryogenesis and plant regeneration in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Plant Cell Rep. 1987;6:231–234. doi:10.1007/BF00268487

13. Ikeuchi M, Sugimoto K, Iwase A. Plant callus: mechanisms of induction and repression. Plant Cell. 2013;25(9):3159–3173.

14. Srivastava A, Shukla AK, Srivastava S, Dubey RS, Singh PK, Verma PC. Agrobacterium-mediated genetic transformation of cotton and regeneration via somatic embryogenesis. Bio Protoc. 2023;13(10):e4677. doi:10.21769/BioProtoc.4677.

15. Kumar M, Singh H, Shukla AK, Verma PC, Singh PK. Induction and establishment of somatic embryogenesis in elite Indian cotton cultivar (*Gossypium hirsutum* L. cv Khandwa-2). Plant Signal Behav. 2013;8(10):e26762. doi:10.4161/psb.26762

16. N’Guessan ASR, Ayolie K, Yapo SES, Konan YKF, N’Cho AL, N’Goran KD, et al. The induction of high-frequency callus with an elite cotton (*Gossypium hirsutum* L.) from Côte d’Ivoire. J Adv Biotechnol. 2019;8:1104–1117. doi:10.24297/jbt.v8i0.8503

17. Kumar GP, Subiramani S, Govindarajan S, Sadasivam V, Manickam V, Mogilicherla K, et al. Evaluation of different carbon sources for high frequency callus culture with reduced phenolic secretion in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cv. SVPR-2. Biotechnol Rep (Amst). 2015;7:72–80. doi:10.1016/j.btre.2015.05.005

18. Zhang B, Feng R, Liu F, Wang Q. High frequency somatic embryogenesis and plant regeneration of an elite Chinese cotton variety. Bot Bull Acad Sin. 2001;42:9–16.

19. Fan Y, Tang Z, Wei J, Yu X, Guo H, Li T, et al. Dynamic transcriptome analysis reveals complex regulatory pathway underlying induction and dose effect by different exogenous auxin IAA and 2,4-D during in vitro embryogenic redifferentiation in cotton. Front Plant Sci. 2022;13:931105. doi:10.3389/fpls.2022.931105

20. Sun J, Li W, Zhang H, Zhao J, Yin X, Wang LA. Somatic embryogenesis and plant regeneration in glandless upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Front Agric China. 2009;3(3):279–283. doi:10.1007/s11703-009-0060-8

21. Pushpa R, Raveendran TS. Factors influencing high callusing proliferation in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Afr J Plant Sci. 2013;7(6):227–233. doi:10.5897/AJPS12.148

22. Murashige T, Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. Physiol Plant. 1962;15:473–497. doi:10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

23. Trolinder NL, Goodin JR. Somatic embryogenesis in cotton (*Gossypium*). I. Effect of source of explant and hormone regime. Plant Cell Tissue Organ Cult. 1988;12:31–42. doi:10.1007/BF00043105

24. Wu JH, Zhang XL, Nie YC, Jin SX, Liang SG. Factors affecting somatic embryogenesis and plant regeneration from a range of recalcitrant genotypes of Chinese cotton (*Gossypium hirsutum* L.). In Vitro Cell Dev Biol Plant. 2004;40:371–375. doi:10.1079/IVP2004535

25. Jin S, Zhang X, Liang S, Nie Y, Guo X, Huang C. Factors affecting transformation efficiency of embryogenic callus of upland cotton (*Gossypium hirsutum*) with Agrobacterium tumefaciens. Plant Cell Tissue Organ Cult. 2005;81:229–237. doi:10.1007/s11240-004-5209-9

26. Chen TZ, Wu SJ, Li FF, Guo WZ, Zhang TZ. In vitro regeneration of four commercial cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars grown in Xinjiang, China. Acta Agron Sin. 2008;34(8):1374–1380. doi:10.1016/S1875-2780(08)60047-4