AZOTNING TURLI SHAKLLARINI O‘SIMLIKLAR TOMONIDAN O‘ZLASHTIRISH SAMARADORLIGI VA ULARNING O‘SISH-RIVOJLANISH KO‘RSATKICHLARIGA TA’SIRINI IN VITRO VA OCHIQ SHAROITLARDA BAHOLASH (ADABIYOTLAR TAHLILI)

Norova Nozima Siroch qizi
E-mail: norovanozima340@gmail.com

Abdug‘afforova Zilola Uchqunjon qizi
Buxoro davlat universiteti magistarnti
E-mail: abdugafforovazilola@gmail.com

To‘rayeva Umeda Davlat qizi
Buxoro davlat universiteti magistranti
E-mail: umedaturayeva4@gmail.com

Jo‘rayeva Zarina Sergey qizi
Buxoro davlat universiteti magistranti
E-mail: zarinajurayeva25@gmail.com
https://doi.org/10.5281/zenodo.22982852

Annotatsiya. Maqolada azotning noorganik shakllari — nitrat (NO_3^-) va ammoniy (NH_4^+) — ning o‘simliklar tomonidan o‘zlashtirilishi hamda ularning o‘sish-rivojlanish ko‘rsatkichlariga ta’siri bo‘yicha xalqaro va Markaziy Osiyo (O‘zbekiston)ga oid tadqiqotlar adabiyotlar tahlili asosida qiyosiy sharhlanadi. Sharhga hujayra va to‘qima kulturasi (in vitro), nazorat qilinadigan laboratoriya (gidroponika, idish) hamda ochiq (dala) sharoitida o‘tkazilgan tajribalar kiritilgan. Tahlil ko‘pchilik turlar uchun nitrat va ammoniyning aralash berilishi ularni yakka holda berishdan qulayroq ekanini, ammoniyning yagona manba sifatida yoki yuqori konsentratsiyada toksik ta’sir ko‘rsatishini, optimal NH_4^+:NO_3^- nisbati esa tur va genotipga bog‘liqligini ko‘rsatdi. Dala sharoitida azotdan foydalanish samaradorligini o‘g‘it shakli va me’yoridan tashqari uning tuproqda immobilizatsiyasi, yuvilishi va uchishi belgilaydi. In vitro natijalarini dalaga bevosita ko‘chirish cheklangan; ikkala yondashuvni ^{15}N izotop usuli orqali bog‘lash istiqbolli yo‘nalish sifatida ko‘rsatildi. Maqola muallifning o‘z tajribalariga emas, e’lon qilingan tadqiqotlar tahliliga asoslanadi.

Kalit so‘zlar: azot, nitrat, ammoniy, NH_4^+:NO_3^- nisbati, azotdan foydalanish samaradorligi, in vitro, dala sharoiti, ^{15}N.

Abstract. This review compares published studies on the uptake of inorganic nitrogen forms — nitrate (NO_3^-) and ammonium (NH_4^+) — and their effects on plant growth and development under in vitro culture, controlled laboratory (hydroponic and pot) and open-field conditions, including data from Uzbekistan and Central Asia. The literature indicates that for most species a mixture of nitrate and ammonium supports growth better than either form alone, that ammonium as the sole source or at high concentration can be toxic, and that the optimal NH_4^+:NO_3^- ratio depends on species and genotype. In the field, nitrogen use

efficiency is determined not only by fertilizer form and rate but also by soil immobilization, leaching and volatilization, so in vitro results cannot be transferred directly to field recommendations. Linking both approaches through ^{15}N tracer methods is proposed as a promising direction. The article is based on analysis of published studies, not on the author's own experiments.

Keywords: nitrogen, nitrate, ammonium, NH_4^+:NO_3^- ratio, nitrogen use efficiency, in vitro, field conditions, ^{15}N.

Kirish. Azot o‘simliklarning o‘sishi va hosildorligini eng ko‘p oshiradigan oziq elementlaridan biri bo‘lib, oqsillar, nuklein kislotalar va xlorofill tarkibiga kiradi [1, 2]. O‘simliklar azotni asosan noorganik shakllarda — nitrat (NO_3^-) va ammoniy (NH_4^+) ionlari holida o‘zlashtiradi. Ayrim sharoitlarda aminokislotalar kabi organik birikmalar ham o‘zlashtirilishi mumkin [3]. Bu shakllar o‘simlik ichida assimilyatsiya qilinishi uchun zarur energiya sarfi, hujayra pH ga ta’siri va signal vazifalari bo‘yicha bir-biridan farq qiladi [4, 5, 6].

Amaliy nuqtai nazardan muammo shundaki, dalaga berilgan azotli o‘g‘itning muhim qismi hosilga o‘tmaydi. Zhang va hammualliflar (2015) azotdan foydalanish samaradorligini oshirish oziq-ovqat xavfsizligi, atrof-muhit degradatsiyasi va iqlim o‘zgarishi kabi uch yo‘nalishdagi muammolarni hal etishda muhim ekanini ta’kidlaydi [7]. Markaziy Osiyoning sug‘oriladigan dehqonchiligida ham g‘o‘za va kuzgi bug‘doyda azot o‘g‘itidan foydalanish samaradorligining pastligi hosil va fermer daromadini kamaytirishi ta’kidlanadi [8]. Boshqa tomondan, hujayra va to‘qima kulturasi (in vitro) sharoitida oziq muhitidagi azotning umumiy miqdori hamda NH_4^+:NO_3^- nisbati o‘simlik regeneratsiyasi, morfogenez va fiziologik buzilishlarni belgilovchi omil hisoblanadi [6, 9, 10].

Azot shakllarining o‘zlashtirilishi bo‘yicha tajribalar nazorat qilinadigan yopiq muhitlarda ham, ochiq dala sharoitida ham keng o‘tkazilgan, biroq ularning natijalari odatda alohida sharhlanadi. Ushbu maqolaning maqsadi — azotning turli shakllarini o‘simliklar tomonidan o‘zlashtirish samaradorligi va ularning o‘sish-rivojlanish ko‘rsatkichlariga ta’siri bo‘yicha in vitro, laboratoriya va ochiq sharoitlarda o‘tkazilgan tadqiqotlarni adabiyotlar asosida qiyosiy tahlil qilishdir. Maqola boshqa tadqiqotchilar e’lon qilgan natijalarni o‘zaro solishtirishga asoslanadi. Vazifalar: (1) azot shakllarini o‘zlashtirishning fiziologik asoslarini umumlashtirish; (2) in vitro va nazorat qilinadigan laboratoriya tajribalari natijalarini tahlil qilish; (3) dala tajribalari, jumladan O‘zbekiston sharoitidagi ma’lumotlarni ko‘rib chiqish; (4) ikki yondashuv natijalarini taqqoslab, bilimdagi bo‘shliqlarni aniqlash.

ADABIYOTLAR TAHLILI METODOLOGIYASI

Sharh uchun xalqaro nashriyotlar (Springer, Elsevier, BMC, PNAS, Nature, Frontiers va boshqalar) hamda ilmiy repozitoriylarda joylashtirilgan maqolalar va dissertatsiyalar “azot shakllari”, “nitrat va ammoniy”, “NH_4^+:NO_3^- nisbati”, “azotdan foydalanish samaradorligi”, “in vitro oziq muhiti”, “^{15}N” kabi kalit so‘zlar bo‘yicha qidirib tanlab olindi. Tanlov mezonlari: (a) azotning shakli, manbai yoki me’yorining o‘simlik o‘sishi, hosildorligi yoki o‘zlashtirish ko‘rsatkichlariga ta’siri eksperimental o‘rganilgan; (b) tajriba sharoiti (in vitro, gidroponika yoki idish, dala) aniq ko‘rsatilgan; (c) natijalar hakamlik qilinadigan nashrda yoki rasmiy dissertatsiyada e’lon qilingan. Tahlil narrativ (tavsifiy-qiyosiy) xarakterga ega

bo‘lib, meta-tahlil o‘tkazilmagan; turli tajribalarning raqamli ko‘rsatkichlari o‘zaro bevosita taqqoslanmaydi, chunki ularning dizayni, o‘simlik turi va o‘lchov birliklari farq qiladi.

1. AZOT SHAKLLARINI O‘ZLASHTIRISH VA ASSIMILYATSIYA QILISHNING FIZIOLOGIK ASOSLARI

Aerob tuproqlarda ko‘pchilik ekin o‘simliklari uchun asosiy azot manbai nitratdir. Nitratni ildiz hujayralari maxsus tashuvchilar orqali oladi. Ulardan biri — NRT1.1 (CHL1) — nitrat sensori vazifasini ham bajarishi ko‘rsatilgan [5, 11]. Nitratning assimilyatsiyasi ammoniyga nisbatan ko‘proq energiya talab qiladi va muhit reaksiyasining ishqoriylashuviga olib keladi; ammoniy assimilyatsiyasi energetik jihatdan qulayroq bo‘lsa-da, kislotalashuv (atsidifikatsiya) bilan kechadi [4, 6]. Pelissier va hammualliflarning (2024) sholi transkriptomiga bag‘ishlangan ishida qayd etilishicha, nitrat uchun aniq signal yo‘li (jumladan NLP transkripsiya omillari) mavjud, ammoniy uchun esa alohida signal mexanizmi hali aniqlanmagan; ammoniyga ildiz arxitekturasi javobi asosan hujayra ichki pH va auksin harakati orqali yuzaga chiqadi, deb hisoblanadi [12].

Ammoniy ko‘pchilik o‘simliklar uchun qulay manba bo‘lishi bilan birga, uning yagona manba sifatida yoki yuqori konsentratsiyada berilishi toksik ta’sir ko‘rsatadi. Britto va Kronzucker (2002) ushbu hodisani keng ko‘lamli sharhda tahlil qilib, yovvoyi va madaniy turlar javobidagi farqlar, toksiklik belgilari va mexanizmlari (hujayra pH, ion muvozanati, uglerod biokimyosi, tashish bioenergetikasi) hamda uni kamaytirish yo‘llarini yoritgan [13]. Ularning boshqa ishida ammoniyning membrana orqali behuda (“futile”) aylanishi toksiklikning hujayra darajasidagi asosiy sababi sifatida taklif etilgan [14]. Keyingi tadqiqotlarda Arabidopsis da toksiklik plastid glutamin sintetazasi tomonidan ammoniyning haddan tashqari assimilyatsiyasi bilan bog‘liqligi ham ko‘rsatilgan [15, 16]. Ammoniyga chidamlilik turlar bo‘yicha farq qiladi, ko‘pchilik o‘simliklar nitratni afzal ko‘rib, ammoniy yolg‘iz yoki ko‘p berilganda stressga uchraydi, sholi esa ammoniyni nisbatan yaxshi ko‘taradi [12]. Sholining ikki genotipi bilan o‘tkazilgan gidroponik tajribada azotdan foydalanish samaradorligi past genotipda ildiz cho‘zilish zonasida NH_4^+ chiqishi (efflux) yuqori samarali genotipdagidan taxminan yetti baravar ko‘p bo‘lgani va bu ildiz nafas olishining kuchli oshishi bilan birga kechgani qayd etilgan [17].

Hachiya va Sakakibara (2017) sharhiga ko‘ra, nitrat va ammoniy aralashmasi o‘sish uchun ularning har birini yakka holda berishdan qulayroq bo‘lib, o‘zlashtirish, taqsimlanish, assimilyatsiya va signal bosqichlarida sinergiya kuzatiladi [2]. Turlar orasida farqlar mavjud: makkajo‘xori va soya bilan o‘tkazilgan dala kuzatuvlari hamda issiqxona tajribalarida ikkala ekin NH_4^+:NO_3^- nisbatiga qarab u yoki bu shaklni afzal ko‘rish plastikligini namoyon qilgan; makkajo‘xori nitratga, soya esa ammoniyga kuchliroq moyillik ko‘rsatgan [18].

2. IN VITRO VA NAZORAT QILINADIGAN LABORATORIYA SHAROITIDAGI TADQIQOTLAR

2.1. Oziq muhitidagi azot tarkibi

Murashige va Skoog (MS) muhitida umumiy noorganik azot taxminan 60 mM ni tashkil etadi, nitrat va ammoniy nisbati taxminan 2:1 [6, 19]. Ba’zi kulturalar uchun MS dagi azot miqdori o‘simlik ehtiyojidan ancha yuqori bo‘lishi va shu sababli azotning bir qismi isrof bo‘lishi, ayrim muhitlarda esa nitrat:ammoniy nisbati optimal bo‘lmasligi ta’kidlanadi;

noto‘g‘ri miqdor va nisbat o‘sishning susayishi hamda fiziologik buzilishlarga olib kelishi mumkin [6, 20]. Shu bois umumiy azot va NH_4^+:NO_3^- nisbati o‘simlik turi, o‘sish sharoiti va kultura turiga qarab alohida optimallashtirilishi lozim [6].

2.2. Morfogenez va regeneratsiyaga ta’siri

Azot shakllarining morfogenezga ta’siri ko‘plab kulturalarda o‘rganilgan: tamaki barg diskalarida kurtak organogenezi uchun noorganik azot talablari [9], olxo‘rida umumiy azot va uning ion shakllari balansining qo‘shimcha kurtak hosil bo‘lishi va kallus o‘sishiga ta’siri [21], qovoqda somatik embrionlar rivojlanishining azot birikmalari bilan boshqarilishi [22], bug‘doyda somatik embriogenez uchun NH_4^+ va NO_3^- ga bo‘lgan talab [23]. Niedz va Evens sitrus kalluslari o‘sishini oziq muhitining mineral tarkibi orqali boshqarish mumkinligini tajribada tekshirgan hamda azot va kaliy ta’minotining embriogen va noembriogen to‘qimalar o‘sishiga ta’sirini o‘rgangan [24, 25].

2.3. Ammoniy va giperhidratsiya

Aloe polyphylla mikroko‘paytirishda o‘tkazilgan tadqiqotda ammoniy yagona azot manbai bo‘lganda novdalar regeneratsiyasi va o‘sishi susayib, giperhidratsiya (shishasimon holat) chastotasi taxminan 50% gacha oshgan; nitrat yagona manba bo‘lganda esa yuqori sifatli novdalar hosil bo‘lgan va giperhidratsiya kuzatilmagan. Shu bilan birga, standart MS azot aralashmasi har qanday yakka manbadan ustun bo‘lib, NH_4^+ va NO_3^- o‘rtasidagi sinergiyaga ishora qilgan [10, 26]. Dissertatsiya ma’lumotlariga ko‘ra, sitokininlar (BA, zeatin) faqat ammoniy konsentratsiyasi yuqori bo‘lgandagina giperhidratsiyani konsentratsiyaga bog‘liq holda kuchaytirgan, past NH_4^+ (10,3 mM) va past BA yoki zeatin (5 µM) sharoitida esa sog‘lom novdalar ko‘p hosil bo‘lgan [26]. Ammoniy nitrat va agar konsentratsiyasining giperhidratsiya hamda to‘qimadagi nitrat va umumiy azot miqdoriga ta’siri boshqa turda (Amelanchier arborea) ham o‘rganilgan [27].

2.4. Genotipga xos optimumlar

Nok (Pyrus) turlari bilan o‘tkazilgan tadqiqotda NH_4^+, NO_3^- va K^+ ning turli kombinatsiyalari “response surface” dizayni yordamida sinalgan; har bir tur o‘ziga xos javob bergan va azot shaklini o‘zgartirish orqali novdalar uzunligi, soni yoki kallus miqdorini boshqarish mumkin bo‘lgan. Eng yaxshi sifatli novdalar uchun P. communis navlariga yuqori nitrat va past-o‘rtacha ammoniy, P. ussuriensis ‘Hang Pa Li’ ga esa past nitrat va yuqori ammoniy kerak bo‘lgan [28]. Malina (Rubus) da nitrat konsentratsiyasi novda sifatiga eng kuchli ta’sir etuvchi omil bo‘lib, ko‘pchilik navlarda eng yaxshi o‘sish nitratning 40–60 mM va ammoniyning 30–45 mM oralig‘ida kuzatilgan; standart MS azoti (20 mM NH_4^+ va 40 mM NO_3^-) mesos tuzlari 2,5 barobar oshirilganda modifikatsiyalanmagan MS dan yaxshiroq natija bergan [29]. Olma payvandtagi MM 106 ning in vitro novdalarida KNO_3 va NH_4NO_3 aralash berilgan variantda yangi massa, xlorofill miqdori, sof fotosintez tezligi, transpiratsiya va og‘izchalar o‘tkazuvchanligi eng yuqori bo‘lgan [30]. O‘rik novdalari kulturasida ham azot ionlari va ularning nisbati o‘sishga ta’sir ko‘rsatishi qayd etilgan [31].

2.5. Nitrat va ammoniy hissasini miqdoriy baholash

Zhang va hammualliflar (2019) Orychophragmus violaceus va Brassica napus ning ildizsiz in vitro o‘simtalarida nitrat va ammoniyning umumiy azot assimilyatsiyasiga qo‘shgan hissasini ikki tomonlama barqaror ^{15}N izotop indikatori yordamida ajratib baholagan. MS asosidagi muhitda umumiy azot 20, 40, 60 va 80 mM (nitrat:ammoniy = 2:1) bo‘lganda, nitrat ammoniydan ikki barobar ko‘p berilsa ham, ammoniyning o‘zlashtirilish samaradorligi

nitratnikidan sezilarli yuqori bo‘lgan; faqat eng past (20 mM) ta’minotda O. violaceus asosan nitratdan foydalangan. Xlorofill miqdori azot ta’minoti oshishi bilan ortgan; B. napus biomassasi 40 mM dagi 2,36 g dan 80 mM dagi 3,06 g gacha oshgan, O. violaceus da esa 20–80 mM oralig‘ida sezilarli o‘zgarmagan va uning novdalar soni 40 mM dagi 8,7 dan 60 mM dagi 6,0 gacha kamaygan. Mualliflar eng yuqori (80 mM) darajani ikkala tur uchun optimal emas, azot isrofi deb baholagan; ammoniy ulushining shu darajada pasayishini esa ammoniyning behuda aylanishi bilan bog‘lashgan (taxmin) [6].

2.6. Gidroponika va idish tajribalari

Nazorat qilinadigan gidroponik va idish tajribalari muhit pH ning hal qiluvchi rolini ko‘rsatgan. Xitoyning turli hududlaridan olingan 31 ta bug‘doy navida 5 mM ammoniy yagona manba sifatida berilganda ildiz va poya biomassasi keskin kamaygan, bu ta’sir muhit pH past (5,0) bo‘lganda kuchaygan; to‘qimada erkin NH_4^+, aminokislotalar miqdori va glutamin sintetaza faolligi oshgan, eruvchi qandlar esa kamaygan [32]. Makkajo‘xori maysalarida NH_4^+ nitratga nisbatan quruq massa, azot o‘zlashtirish va azotni o‘zlashtirib olish (recovery) samaradorligini kislotali sharoitda (tuproq pH 4,32–4,36, eritma pH 4,00) 28–94% ga kamaytirgan, neytral-ishqoriy sharoitda (tuproq pH 6,52–8,02, eritma pH 7,00–8,00) esa 10–88% ga oshirgan; afzal shakl o‘zgaradigan kritik pH tuproqda 5,08–5,40, eritmada 5,50–6,59 oralig‘ida bo‘lgan [33].

Jadval-1. In vitro va nazorat qilinadigan laboratoriya tadqiqotlarining qisqacha ko‘rinishi

Manba	Ob’ekt va sharoit	Azot shakli / me’yori	Asosiy natija
Zhang va b., 2019 [6]	O. violaceus, B. napus; in vitro, ildizsiz o‘simtalar	Umumiy N 20–80 mM; NO3−:NH4+ = 2:1; 15N	NH4+ ning o‘zlashtirilishi ustun; 80 mM optimal emas
Ivanova va Van Staden, 2009 [10]	Aloe polyphylla; in vitro	NH4+, NO3− yakka va MS aralashmasi	NH4+ yakka: giperhidratsiya ≈50%; NO3− yakka: yo‘q; MS aralashmasi eng yaxshi
Wada va b., 2015 [28]	Pyrus turlari; in vitro	NH4+, NO3−, K+ kombinatsiyalari	Har bir tur uchun alohida optimum
Poothong va Reed, 2016 [29]	Rubus; in vitro	NO3− 40–60 mM; NH4+ 30–45 mM	Nitrat novda sifatiga eng ta’sirli omil
Sotiropoulos va b., 2005 [30]	Olma payvandtagi MM 106; in vitro	KNO3, NH4NO3 va aralash	Aralash variantda biomassa, xlorofill va fotosintez yuqori
Chen va b., 2013 [17]	Sholi; gidroponika	Yuqori NH4+	Past samarali genotipda NH4+ efflux ≈7 baravar yuqori
Wang va b., 2022 [32]	Bug‘doy (31 nav); gidroponika	5 mM NH4+ yoki nitrat; pH 5,0 va 6,5	NH4+ biomassani kamaytirgan; past pH ta’sirni kuchaytirgan
Zhang H.-Q. va b., 2022 [33]	Makkajo‘xori; tuproq va eritma	NH4+ yoki NO3−; pH 4,0–8,1	Afzal shakl muhit pH ga qarab o‘zgargan

3. OCHIQ (DALA) SHAROITIDAGI TADQIQOTLAR

3.1. Global va mintaqaviy ko‘rinish

Dala sharoitida azot shaklining ta’siri tuproq jarayonlari — nitrifikatsiya, immobilizatsiya, yuvilish, denitrifikatsiya va ammiak uchishi — orqali o‘zgaradi, shu sababli

tadqiqotlar ko‘pincha o‘g‘it shakli (ammoniyli selitra, mochevina, ammoniy sulfat va h.k.), me’yori va berish muddatini taqqoslashga qaratiladi. Global miqyosda Zhang va hammualliflar (2015) mamlakatlar bo‘yicha azotdan foydalanish samaradorligining tarixiy o‘zgarishini tahlil qilib, qishloq xo‘jaligi rivojiga milliy yondashuvlar va tegishli ifloslanish darajasi keng doirada farq qilishini ko‘rsatgan hamda mintaqa va ekin turlari bo‘yicha maqsadli ko‘rsatkichlarni taklif etgan [7]. Intensiv Xitoy dehqonchiligida azotni boshqarishni yaxshilash orqali atrof-muhit xavfini kamaytirish imkoniyatlari ham ko‘rsatilgan [34].

3.2. ^{15}N izotopi bilan o‘tkazilgan dala tajribalari

^{15}N bilan belgilangan o‘g‘itlar dala sharoitida shakllarning taqdirini bevosita kuzatish imkonini beradi. Sug‘oriladigan bug‘doyda ^{15}N bilan belgilangan ammoniyli selitra, mochevina va ammoniy sulfat solishtirilganda ammoniyli selitra don hosili bo‘yicha eng samarali bo‘lgan, ekish vaqtida berilgan ammoniyli selitradan don tarkibiga o‘tgan azot ulushi mochevina va ammoniy sulfatnikidan sezilarli yuqori bo‘lgan [35]. Keyingi dala tajribasida bug‘doy ammoniyli selitra azotining 33,6–51,5% ini, mochevina azotining esa 30,5–40,9% ini o‘zlashtirgan; ammoniyli selitra mochevinaga nisbatan osonroq o‘zlashtiriladigan manba bo‘lgan, o‘g‘itni bo‘lib berish o‘zlashtirishga sezilarli ta’sir etgan, o‘g‘it azotining don tarkibiga o‘tish nisbati esa ikkala o‘g‘itda statistik jihatdan bir xil bo‘lgan [36]. Yarim quruq subtropik sharoitda paxtadan keyin ekilgan sug‘oriladigan bug‘doyda ^{15}N mochevina (100 kg N/ga) qo‘llanilganda o‘g‘it azotining 47,7 kg/ga qismi o‘simlik tomonidan o‘zlashtirilgan (30,0 kg donda, 16,9 kg poxolda), 24,3 kg/ga tuproqda qolgan (asosan organik shaklda), taxminan 28 kg/ga yo‘qotilgan; bu bevosita o‘lchangan denitrifikatsiya yo‘qotishidan taxminan 1,5 barobar ko‘p bo‘lgan [37]. Avstraliyaning Shimoliy hududida sorgo bilan o‘tkazilgan ^{15}N tajribasida o‘g‘itni qo‘llash usuli (chiziqli ko‘mish > aralashtirish > bo‘lib berish tartibida) hosil va azot o‘zlashtirilishiga ta’sir etgan [38]. Alp o‘tloqlari ekotizimida ^{15}N bilan belgilangan NO_3^- va NH_4^+ ning 11–13 oydan keyingi taqdiri farq qilgan: nitrat ^{15}N ining qaytib topilishi 79,96–92,83%, ammoniy ^{15}N ining qaytib topilishi esa 49,6–66,22% ni tashkil etgan [39].

3.3. O‘zbekiston va Markaziy Osiyo ma’lumotlari

Xorazm viloyatida 2004–2006 yillarda o‘tkazilgan dala tajribalari (^{15}N tajribalari 2005 yilda) g‘o‘za va kuzgi bug‘doy hosilining azotga javob egri chizig‘i nisbatan yassi ekanini, hosil maksimumi g‘o‘zada 120, bug‘doyda 180 kg N/ga da kuzatilishini ko‘rsatgan; buni yer osti va sug‘orish suvlari bilan tushadigan taxminan 5–61 kg/ga hisobga olinmagan azot bilan izohlagan. Rasmiy tavsiyalar (g‘o‘za uchun 200, bug‘doy uchun 180 kg N/ga) o‘lchangan va modellashtirilgan o‘zlashtirish bilan mos kelgan, biroq g‘o‘zada shu me’yorda ko‘saklarning ochilishi kechikkan. Umumiy azot samaradorligi yuqori (81–84%) deb baholangan, tuproqdagi ^{15}N ulushi katta (mos ravishda 48 va 47%) bo‘lib, bu immobilizatsiya jarayonlarining ahamiyatiga ishora qilgan; ekishdan oldin diammoniy fosfat berilganda mochevinaga nisbatan azotdan foydalanish samaradorligi yuqoriroq bo‘lgan, bug‘doyda boshoqlash davrida qo‘shimcha kech azot berish esa ^{15}N ning umumiy qaytishini eng yuqori qilgan [8]. G‘o‘za mikrodelyankalarida 120 kg N/ga me’yorda turli manbalar (DAP + mochevina, faqat mochevina, DAP + ammoniyli selitra) va bo‘lib berish muddatlari sinalganda o‘g‘it ^{15}N ining o‘rtacha 58% i tuproqda, 35% i yer ustki biomassada topilgan [40]. Shu bilan birga, davlat xarid tizimi sharoitida fermerlar foydani maksimallashtirmasdan rasmiy o‘g‘it tavsiyalariga amal qilishi va rasmiy hamda texnik jihatdan erishish mumkin

bo‘lgan hosil o‘rtasidagi tafovutni faqat azot boshqaruvi bilan qisqartirib bo‘lmasligi ta’kidlangan [41].

Aral dengizi havzasining sug‘oriladigan cho‘l yerlarida g‘o‘za bilan o‘tkazilgan ikki yillik tajribada azot me’yori 0 dan 125 kg/ga ga oshirilganda hosil va uning tarkibiy qismlari sezilarli ortgan, me’yor 250 kg/ga ga ikki baravar oshirilganda esa qo‘shimcha o‘sish ancha kichik bo‘lgan; qo‘llangan azotning samaradorligi me’yor oshishi bilan pasaygan, 250 kg/ga da tizimning azot balansi musbat (azot yo‘qotilishi) bo‘lgan, an’anaviy shudgorlashda bu yo‘qotish doimiy keng jo‘yaklarga nisbatan ikki baravardan ko‘p (66 kg/ga) bo‘lgan [42]. Tipik bo‘z tuproqda g‘o‘za bilan o‘tkazilgan ^{15}N tajribasida mochevinaga nitrifikatsiya ingibitori (KMP) va sekin ta’sir etuvchi o‘g‘itlar qo‘shilganda o‘g‘it azotidan foydalanish 38,1% gacha oshgan, tuproqda fiksatsiya 21,4% dan 29,3% gacha ko‘tarilgan, yuvilish va uchish yo‘qotishlari esa 35,8% dan 19,6% gacha kamaygan [43].

Jadval-2. Ochiq (dala) sharoitidagi tadqiqotlarning qisqacha ko‘rinishi

Manba	Ob’ekt va joy	Azot manbai / me’yori	Asosiy natija
Hamid va Sarwar, 1975 [35]	Bug‘doy; dala, 15N	Ammoniyli selitra, mochevina, ammoniy sulfat	Ammoniyli selitra hosil bo‘yicha eng samarali
Hamid va Ahmad, 1994 [36]	Bug‘doy; dala, 15N	Ammoniyli selitra va mochevina; bo‘lib berish	O‘zlashtirish: 33,6–51,5% va 30,5–40,9%
Mahmood va b., 2001 [37]	Bug‘doy (paxtadan keyin); dala, 15N	Mochevina, 100 kg N/ga	O‘simlik 47,7; tuproq 24,3; yo‘qotish ≈28 kg N/ga
Kienzler, 2010 [8]	G‘o‘za, bug‘doy; Xorazm	Turli me’yor va manbalar; 15N	Hosil maksimumi 120 (g‘o‘za) va 180 (bug‘doy) kg N/ga; tuproqda 15N 47–48%
Devkota va b., 2013 [42]	G‘o‘za; sug‘oriladigan cho‘l yerlari	0, 125, 250 kg N/ga	125 dan 250 ga o‘tganda o‘sish kichik; 250 da azot yo‘qotilishi
Khashimov va b., 2024 [43]	G‘o‘za; tipik bo‘z tuproq, 15N	Mochevina + nitrifikatsiya ingibitori	O‘zlashtirish 38,1% gacha; yo‘qotish 35,8% dan 19,6% gacha
Xu va b., 2004 [39]	Alp o‘tloq ekotizimi, 15N	15NO3− va 15NH4+	Qaytib topilish: 79,96–92,83% va 49,6–66,22%

4. MUHOKAMA: IN VITRO VA DALA NATIJALARINING QIYOSIY TAHLILI

4.1. Ikki yondashuv uchun umumiy qonuniyatlar

Ikki guruh tadqiqotlar bir qator o‘xshash xulosalarga olib keladi. Birinchidan, azotning yagona shakliga tayanish o‘rniga nitrat va ammoniyning muvozanatli kombinatsiyasi ko‘p hollarda qulayroq: bu Hachiya va Sakakibara sharhida [2], Aloe polyphylla [10], olma payvandtagi [30], nok va malina [28, 29] bo‘yicha in vitro natijalarda kuzatilgan. Dala tajribalarida ham ikkala shaklni tutuvchi ammoniyli selitra bug‘doy uchun mochevinaga nisbatan yaxshiroq o‘zlashtiriladigan manba bo‘lgan [36]; ammo bu farqni faqat shakllar tarkibi bilan emas, tuproqdagi o‘zgarishlar bilan ham izohlash mumkin (muallif talqini). Ikkinchidan, optimal nisbat tur va genotipga bog‘liq: in vitro da nok turlari [28], dalada esa makkajo‘xori va soya [18] o‘rtasidagi farqlar buni tasdiqlaydi. Uchinchidan, ortiqcha azot samaradorlikni pasaytiradi: in vitro da 80 mM daraja optimal bo‘lmagan [6], dalada g‘o‘zaga me’yor 125 dan 250 kg/ga ga oshirilganda o‘sish kichik, yo‘qotish esa katta bo‘lgan [42]. To‘rtinchidan, muhit pH muhim: idish tajribalarida ammoniy kislotali sharoitda zararli, neytral-ishqoriy sharoitda esa foydali bo‘lgan [32, 33]; NH_4^+ va NO_3^- assimilyatsiyasi esa

mos ravishda muhitni kislotalashtirishi va ishqoriylashtirishi ma'lum [6]. Yopiq idishlarda bu ta'sir kuchliroq bo‘lishi mumkin — bu tahliliy taxmin bo‘lib, ko‘rib chiqilgan ishlarda to‘g‘ridan-to‘g‘ri sinalmagan.

4.2. Farqlar va natijalarni ko‘chirishdagi cheklovlar

Farqlar muhitning tabiatidan kelib chiqadi (Jadval 3). In vitro da azot manbai, uning shakllari nisbati va konsentratsiyasi tajribachi tomonidan aniq belgilanadi, muhit yopiq bo‘lgani uchun nitrifikatsiya, yuvilish yoki denitrifikatsiya kabi yo‘qotish yo‘llari deyarli yo‘q. Dalada esa o‘simlik ildiziga yetib boradigan NH_4^+:NO_3^- nisbatini tuproq mikroorganizmlari va namlik-aeratsiya rejimi belgilaydi; o‘g‘it azotining katta qismi tuproqda immobilizatsiyalanadi (Xorazmda ^{15}N ning 47–48%, g‘o‘za mikrodelyankalarida o‘rtacha 58%) yoki yo‘qoladi (paxtadan keyingi bug‘doyda taxminan 28 kg N/ga) [8, 37, 40]. Shu sababli in vitro da aniqlangan “afzal shakl”ni dala o‘g‘it tavsiyasiga bevosita ko‘chirib bo‘lmaydi; miqdor shkalalari ham mos kelmaydi (mM va kg N/ga). Nitrifikatsiya ingibitorlari dalada azot yo‘qotilishini kamaytirib, o‘simlikka yetib boradigan azot shakllari nisbatini boshqarish imkonini berishi Khashimov va hammualliflari ma'lumotlarida ko‘rinadi [43].

Jadval -3. In vitro va dala tadqiqotlarining qiyosiy xususiyatlari

Ko‘rsatkich	In vitro / laboratoriya	Ochiq (dala) sharoit
Azot manbai va nisbati	Tajribachi aniq belgilaydi (NH4NO3, KNO3, NH4Cl va h.k.)	O‘g‘it shakli beriladi, ammo tuproqda o‘zgaradi
Konsentratsiya birligi	mM (oziq muhitida)	kg N/ga; mg/kg tuproq
Asosiy ko‘rsatkichlar	Yangi massa, novdalar soni, xlorofill, giperhidratsiya, δ15N	Hosil, azot o‘zlashtirilishi, 15N qaytib topilishi, azot balansi
Yo‘qotish yo‘llari	Deyarli yo‘q (yopiq idish)	Yuvilish, denitrifikatsiya, uchish, immobilizatsiya
Nazorat darajasi	Yuqori (pH, harorat, yorug‘lik)	Past (ob-havo, namlik, tuproq xilma-xilligi)
Asosiy cheklov	Tabiiy tuproq jarayonlarini aks ettirmaydi	Shakllarning alohida hissasini ajratish qiyin

4.3. Metodik jihatlar va bilimdagi bo‘shliqlar

In vitro tadqiqotlarda asosiy ko‘rsatkichlar yangi massa, novdalar soni, xlorofill va fiziologik buzilishlar, dalada esa hosil, azot o‘zlashtirilishi, ^{15}N qaytib topilishi va azot balansidir. Ikkala yondashuvni bog‘lovchi umumiy usul — ^{15}N izotop indikatorlari: in vitro da ular nitrat va ammoniy hissasini ajratish uchun [6], dalada esa o‘g‘it azotining taqdirini kuzatish uchun qo‘llangan [8, 36]. Ko‘rib chiqilgan manbalar doirasida quyidagi bo‘shliqlar aniqlandi: (i) bir xil tur uchun in vitro va dala natijalarini parallel taqqoslagan tadqiqotlar uchramadi; (ii) O‘zbekistonda dala tajribalari asosan g‘o‘za va bug‘doyda azot me'yori va o‘g‘it manbasiga qaratilgan bo‘lib [8, 42], mahalliy ekinlar uchun in vitro sharoitida NH_4^+:NO_3^- nisbatini optimallashtirishga oid nashrlar topilmadi (bu tizimli qidiruv natijasi emas, ko‘rib chiqilgan manbalar doirasidagi kuzatuvdir); (iii) dala tajribalarining ko‘pchiligi azot me'yori va manbasini o‘rgangan, ammoniy va nitrat shakllarining o‘simlik tomonidan alohida o‘zlashtirilishini ajratib baholagan ishlar kam.

XULOSA

1. Nitrat va ammoniy o‘simliklar uchun fiziologik va energetik jihatdan farqli ahamiyatga ega; ammoniy yagona manba sifatida yoki yuqori konsentratsiyada toksik bo‘lishi mumkin, ko‘pchilik turlar uchun esa ikkala shaklning aralash berilishi qulayroq.

2. In vitro sharoitida umumiy azot miqdori va NH_4^+:NO_3^- nisbati genotipga bog‘liq; MS muhitining azot tarkibi barcha turlar uchun optimal emas, noto‘g‘ri nisbat o‘sishning susayishi va giperhidratsiyaga olib kelishi mumkin.

3. Dala sharoitida azotdan foydalanish samaradorligini o‘g‘it shakli, me’yori va berish muddatidan tashqari tuproqdagi immobilizatsiya, yuvilish va uchish belgilaydi; O‘zbekiston ma’lumotlariga ko‘ra, g‘o‘za va bug‘doyda me’yor oshgani sari qo‘shimcha hosil kamayadi va azot yo‘qotilishi ortadi.

4. In vitro natijalarini dalaga bevosita ko‘chirish cheklangan; ikkala yondashuvni bog‘lash uchun ^{15}N izotop usullari va bir xil tur uchun parallel (in vitro — idish — dala) tajriba dizaynlari istiqbolli.

5. Kelgusi tadqiqotlarda mahalliy ekinlar uchun azot shakllarining alohida o‘zlashtirilishini baholash, muhit pH ni nazorat qilish va nitrifikatsiya ingibitorlarining ta’sirini NH_4^+:NO_3^- nisbati nuqtai nazaridan o‘rganish maqsadga muvofiq.

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. Xu G., Fan X., Miller A.J. Plant nitrogen assimilation and use efficiency // Annual Review of Plant Biology. – 2012. – Vol. 63. – P. 153–182.
2. Hachiya T., Sakakibara H. Interactions between nitrate and ammonium in their uptake, allocation, assimilation, and signaling in plants // Journal of Experimental Botany. – 2017. – Vol. 68(10). – P. 2501–2512. DOI: 10.1093/jxb/erw449.
3. Näsholm T., Kielland K., Ganeteg U. Uptake of organic nitrogen by plants // New Phytologist. – 2009. – Vol. 182. – P. 31–48. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2008.02751.x.
4. Guo S., Zhou Y., Shen Q., Zhang F. Effect of ammonium and nitrate nutrition on some physiological processes in higher plants – growth, photosynthesis, photorespiration, and water relations // Plant Biology. – 2007. – Vol. 9. – P. 21–29.
5. Wang Y.Y., Hsu P.K., Tsay Y.F. Uptake, allocation and signaling of nitrate // Trends in Plant Science. – 2012. – Vol. 17. – P. 458–467.
6. Zhang K., Wu Y., Hang H. Differential contributions of NO_3^-/NH_4^+ to nitrogen use in response to a variable inorganic nitrogen supply in plantlets of two Brassicaceae species in vitro // Plant Methods. – 2019. – Vol. 15. – Art. 86. DOI: 10.1186/s13007-019-0473-1.
7. Zhang X., Davidson E.A., Mauzerall D.L., Searchinger T.D., Dumas P., Shen Y. Managing nitrogen for sustainable development // Nature. – 2015. – Vol. 528. – P. 51–59. DOI: 10.1038/nature15743.
8. Kienzler K.M. Improving the nitrogen use efficiency and crop quality in the Khorezm region, Uzbekistan: PhD dissertation. – Bonn: Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, 2010.
9. Ramage C.M., Williams R.R. Inorganic nitrogen requirements during shoot organogenesis in tobacco leaf discs // Journal of Experimental Botany. – 2002. – Vol. 53. – P. 1437–1443.

10. Ivanova M., Van Staden J. Nitrogen source, concentration, and NH_4^+:NO_3^- ratio influence shoot regeneration and hyperhydricity in tissue cultured Aloe polyphylla // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. – 2009. – Vol. 99. – P. 167–174.
11. Ho C.H., Lin S.H., Hu H.C., Tsay Y.F. CHL1 functions as a nitrate sensor in plants // Cell. – 2009. – Vol. 138. – P. 1184–1194.
12. Pélissier P.-M., Parizot B., Jia L., De Knijf A., Goossens V., Gantet P., Champion A., Audenaert D., Xuan W., Beeckman T., Motte H. Nitrate and ammonium, the yin and yang of nitrogen uptake: a time-course transcriptomic study in rice // Frontiers in Plant Science. – 2024. – Vol. 15. – Art. 1343073. DOI: 10.3389/fpls.2024.1343073.
13. Britto D.T., Kronzucker H.J. NH_4^+ toxicity in higher plants: a critical review // Journal of Plant Physiology. – 2002. – Vol. 159(6). – P. 567–584.
14. Britto D.T., Siddiqi M.Y., Glass A.D.M., Kronzucker H.J. Futile transmembrane NH_4^+ cycling: a cellular hypothesis to explain ammonium toxicity in plants // Proceedings of the National Academy of Sciences USA. – 2001. – Vol. 98(7). – P. 4255–4258. DOI: 10.1073/pnas.061034698.
15. Hachiya T., Inaba J., Wakazaki M., Sato M., Toyooka K. et al. Excessive ammonium assimilation by plastidic glutamine synthetase causes ammonium toxicity in Arabidopsis thaliana // Nature Communications. – 2021. – Vol. 12. – Art. 4944. DOI: 10.1038/s41467-021-25238-7.
16. Li B., Li G., Kronzucker H.J., Baluška F., Shi W. Ammonium stress in Arabidopsis: signaling, genetic loci, and physiological targets // Trends in Plant Science. – 2014. – Vol. 19(2). – P. 107–114.
17. Chen G., Guo S., Kronzucker H.J., Shi W. Nitrogen use efficiency (NUE) in rice links to NH_4^+ toxicity and futile NH_4^+ cycling in roots // Plant and Soil. – 2013. DOI: 10.1007/s11104-012-1575-y.
18. Daryanto S., Wang L., Gilhooly W.P., Jacinthe P.-A. Nitrogen preference across generations under changing ammonium nitrate ratios // Journal of Plant Ecology. – 2019. – Vol. 12. – P. 235–244. DOI: 10.1093/jpe/rty014.
19. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures // Physiologia Plantarum. – 1962. – Vol. 15. – P. 473–497.
20. George E.F., Hall M.A., De Klerk G.-J. The components of plant tissue culture media I: macro- and micro-nutrients // Plant propagation by tissue culture. – Dordrecht: Springer, 2008. – P. 65–113.
21. Nowak B., Miczyński K., Hudy L. The effect of total inorganic nitrogen and the balance between its ionic forms on adventitious bud formation and callus growth of ‘Węgierka Zwykła’ plum (Prunus domestica L.) // Acta Physiologiae Plantarum. – 2007. – Vol. 29. – P. 479–484.
22. Leljak-Levanić D., Bauer N., Mihaljević S., Jelaska S. Somatic embryogenesis in pumpkin (Cucurbita pepo L.): control of somatic embryo development by nitrogen compounds // Journal of Plant Physiology. – 2004. – Vol. 161. – P. 229–236.
23. Menke-Milczarek I., Zimny J. NH_4^+ and NO_3^- requirement for wheat somatic embryogenesis // Acta Physiologiae Plantarum. – 2001. – Vol. 23. – P. 37–42.

24. Niedz R.P., Evens T.J. Regulating plant tissue growth by mineral nutrition // In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant. – 2007. – Vol. 43. – P. 370–381. DOI: 10.1007/s11627-007-9062-5.
25. Niedz R.P., Evens T.J. The effects of nitrogen and potassium nutrition on the growth of nonembryogenic and embryogenic tissue of sweet orange (Citrus sinensis (L.) Osbeck) // BMC Plant Biology. – 2008. – Vol. 8. – Art. 126.
26. Ivanova M.V. Regulation of hyperhydricity in Aloe polyphylla propagated in vitro: PhD thesis. – Pietermaritzburg: University of KwaZulu-Natal, 2009.
27. Brand M.H. Agar and ammonium nitrate influence hyperhydricity, tissue nitrate and total nitrogen content of serviceberry (Amelanchier arborea) shoots in vitro // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. – 1993. – Vol. 35. – P. 203–209.
28. Wada S., Niedz R.P., Reed B.M. Determining nitrate and ammonium requirements for optimal in vitro response of diverse pear species // In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant. – 2015. – Vol. 51. – P. 19–27. DOI: 10.1007/s11627-015-9662-4.
29. Poothong S., Reed B.M. Optimizing shoot culture media for Rubus germplasm: the effects of NH_4^+, NO_3^-, and total nitrogen // In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant. – 2016. – Vol. 52. – P. 265–275. DOI: 10.1007/s11627-016-9750-0.
30. Sotiropoulos T.E., Moutharidou G.N., Thomidis T., Tsirakoglou V., Dimassi K.N., Therios I.N. Effects of different N-sources on growth, nutritional status, chlorophyll content, and photosynthetic parameters of shoots of the apple rootstock MM 106 cultured in vitro // Biologia Plantarum. – 2005. – Vol. 49(2). – P. 297–299.
31. Kovalchuk I.Y., Mukhitdinova Z., Turdiyev T. et al. Nitrogen ions and nitrogen ion proportions impact the growth of apricot (Prunus armeniaca) shoot cultures // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. – 2018. – Vol. 133. – P. 263–273.
32. Wang F., Wang Q., Yu Q., Ye J., Gao J., Liu H., Yong J.W.H., Yu Y., Liu X., Kong H., He X., Ma J. Is the NH_4^+-induced growth inhibition caused by the NH_4^+ form of the nitrogen source or by soil acidification? // Frontiers in Plant Science. – 2022. – Vol. 13. – Art. 968707. DOI: 10.3389/fpls.2022.968707.
33. Zhang H.-Q., Shen R.-F., Zhao X.-Q. Nitrogen source preference in maize at seedling stage is mainly dependent on growth medium pH // Agronomy. – 2022. – Vol. 12(9). – Art. 2149. DOI: 10.3390/agronomy12092149.
34. Ju X.-T., Xing G.-X., Chen X.-P., Zhang S.-L., Zhang L.-J. et al. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems // Proceedings of the National Academy of Sciences USA. – 2009. – Vol. 106. – P. 3041–3046. DOI: 10.1073/pnas.0813417106.
35. Hamid A., Sarwar G. Effect of time and method of N application and moisture regimes on uptake of N from N15-labelled ammonium nitrate, urea and ammonium sulphate by wheat // Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research. – 1975. – Vol. 18(6).
36. Hamid A., Ahmad M. Effects of 15N-labelled ammonium nitrate and urea on soil nitrogen during growth of wheat (Triticum aestivum L.) under field conditions // Biology and Fertility of Soils. – 1994. – Vol. 17. – P. 232–236. DOI: 10.1007/BF00336328.
37. Mahmood T., Ali R., Aslam Z. Fate of the 15N-labelled urea applied to irrigated wheat grown after cotton harvest under semiarid subtropical conditions // Pakistan Journal of Botany. – 2001. – Vol. 33(4). – P. 389–392.

38. Myers R.J.K. Nitrogen and phosphorus nutrition of dryland grain sorghum at Katherine, Northern Territory. 4. 15-nitrogen studies on nitrogen carrier and method of application // Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry. – 1979. – Vol. 19(99). – P. 481–487.
39. Xu X.-L., Ouyang H., Pei Z.-Y., Zhou C.-P. Long-term partitioning of ammonium and nitrate among different components in an alpine meadow ecosystem // Journal of Integrative Plant Biology. – 2004. – Vol. 46(3). – P. 279–283.
40. Kienzler K.M., Ibragimov N.M., Lamers J.P.A., Vlek P.L.G. Influence of nitrogen sources and timing on fertilizer uptake efficiency of irrigated cotton (Gossypium hirsutum L.) in Central Asia // ASA-CSSA-SSSA International Annual Meetings, 7 November 2007, abstract 295-5.
41. Kienzler K.M., Djanibekov N., Lamers J.P.A. An agronomic, economic and behavioral analysis of N application to cotton and wheat in post-Soviet Uzbekistan // Agricultural Systems. – 2011. – Vol. 104(5). – P. 411–418.
42. Devkota M., Martius C., Lamers J.P.A., Sayre K.D., Devkota K.P., Vlek P.L.G. Tillage and nitrogen fertilization effects on yield and nitrogen use efficiency of irrigated cotton // Soil and Tillage Research. – 2013. – Vol. 134. – P. 72–82.
43. Khashimov F.Kh., Tashkenbaev O.N., Umurzakov A.A. The effectiveness nitrogen balance urea cotton using nitrification inhibitor washed typical sierozems // BIO Web of Conferences. – 2024. – Vol. 149. – Art. 01046. DOI: 10.1051/bioconf/202414901046.