

Ն. Պ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ

ԱԾԽԱԾՆԱՅԻՆ ՍՆՈՒՑՄԱՆ ՏԱՐԲԵՐ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԻ ՆՇԱՆԱԿՈՒԹՅՈՒՆԸ
ՔԼՈՐԵԼԼԱՅԻ ԲԱԶՄԱՑՄԱՆ ԱՐԱԴՈՒԹՅԱՆ ՀԱՄԱՐ

Միաբջիջ կանաչ ջրիմուռների մոտ ֆոտոսինթեզի ակտիվությունը, ինչպես հայտնի է, մեծ չափով կախված է ածխածնային սնուցման եղանակից: Կուլտուրայի աճն արագացնելու համար ընդունված է սննդարար լուծույթը հազեցնել ածխաթթու դազով, որը սովորաբար խառնվում է ներմուծվող օդի հոսանքին և կամ տրվում է մաքուր վիճակում:

Մի շարք հեղինակներ ուսումնասիրել են միաբջիջ ջրիմուռների բազմացումն ածխածնային սնուցման այլ պայմաններում, լուծույթին խառնելով ածխածնի անօրգանական և կամ օրգանական միացություններ [1—7]:

Ածխաթթու դազը կարբոնատով կամ բիկարբոնատով փոխարինելու դեպքում քլորելլայի բազմացման արագությունը խիստ նվազում է այն պատճառով, որ հիմնային միջավայրում նրա թաղանթի թափանցելիությունն աննշան է ածխածնի այդ միացություններից դիսոցվող CO_3^{2-} և HCO_3^- իոնների համար [2, 8]:

Ածխածնի օրգանական միացություններից (շաքարներ, ալկոհոլներ, օրգանական թթուներ և այլն) դ-գլյուկոզան, որպես ածխածնային սնուցման աղբյուր, առավել մեծ չափով է նպաստում քլորելլայի բազմացման արագությանը [3, 4]:

Բրիստոլ-Ռոշը [9] ուսումնասիրել է միաբջիջ սցենեդեսմուս (*Scenedesmus obliquus*) կանաչ ջրիմուռի բազմացման արագությունն ածխածնային սնուցման տարբեր պայմաններում: Նրա փորձերը ցույց են տվել, որ թույլ լույսի տակ այդ կուլտուրայի աճման տեմպն ածխածնային միքսոտրոֆ ($\text{CO}_2 +$ գլյուկոզ) չնուցման պայմաններում հավասար է նրա կարբոնատոտրոֆ (միայն CO_2) և կարբոհետերոտրոֆ (միայն գլյուկոզ) աճման տեմպերի գումարին: Ինտենսիվ լուսավորման պայմաններում կուլտուրայի աճման տեմպը չի արագանում CO_2 -ի և գլյուկոզայի միատեղ օգտագործմամբ:

Պիրսալը և Բենգրին [10] նույնպես հայտնել են, որ գլյուկոզան զգալիորեն խթանում է քլորելլայի բազմացման արագությունը սուսպենզիայի թույլ լուսավորման պայմաններում. իսկ երբ սուսպենզիան հազեցվում է լույսով, նրա բազմացման արագությունը շատ քիչ է ավելանում:

Պրուեսի և իր աշխատակիցների փորձերը [11] ապացույցել են, որ քլորելլայի արագ բազմացման համար CO_2 -ի փոխարեն գլյուկոզայի օգտագործումը մեծ արդյունք է տալիս միջավայրի ուժգին օդահարման և համեմատաբար թույլ լուսավորման պայմաններում:

Ածխածնային սնուցման իր փորձերի արդյունքները համեմատելիո Դ. Գրիֆիթսը գրել է [12], որ գլյուկոզան չի մեծացնում քլորելլայի բազմացման արագությունը, երբ սուսպենզիան հազեցված է լույսով և ածխաթթու դազով: Կուլտուրայի աճման տեմպը գլյուկոզայի օգտագործման շնորհիվ

5 և 5,8 միավորների սահմաններում: pH-ի որևէ կարգավորում չի կատարված: Սննդարար լուծույթի ամենացածր ջերմաստիճանը փորձի ժամանակ հավասար էր 20°C-ի, իսկ ամենաբարձրը՝ 25°C-ի. սենյակում ամենացածր ջերմաստիճանը 19°C-ի, իսկ ամենաբարձրը՝ 24°C-ի:

Բջջիների հաշվառումը միկրոսկոպով (մեծացումը $\times 300$) կատարվել է Գորյակի կամերայի միջոցով (երկու փոսիկներում հաշվված բջջիների միջին թվաքանակներ):

Աղյուսակ 1

Քլորելլայի բաղադրման արագությունը կարբոնատտրոֆ, կարբոհեատրոֆ և միքսոտրոֆ սնուցման պայմաններում*

Սնուցման եղանակը		10/X		11/X		12/X		13/X	
		բջ/մլ	pH	բջ/մլ	pH	բջ/մլ	pH	բջ/մլ	pH
CO ₂	1	10 ⁴	5	6.10 ⁴	5,3	42.5.10 ⁴	5,55	45.10 ⁴	5,58
	2	10 ⁴	5	5.10 ⁴	5,32	37.10 ⁴	5,51	12.8.10 ⁵	5,53
	3	10 ⁴	5	6.10 ⁴	5,2	42.10 ⁴	5,35	11.10 ⁵	5,45
Միջինը		10 ⁴	5	5.7.10 ⁴	5,27	40.5.10 ⁴	5,47	29.9.10 ⁵	5,52
Գլյուկոզ	1	10 ⁴	5,66	6.10 ⁴	5,23	29.10 ⁴	5,74	—	—
	2	10 ⁴	5,66	5.4.10 ⁴	5,23	25.10 ⁴	5,81	—	—
	3	10 ⁴	5,66	5.8.10 ⁴	5,23	28.10 ⁴	5,64	—	—
Միջինը		10 ⁴	5,66	5.7.10 ⁴	5,23	27.3.10 ⁴	5,73	—	—
Գլյուկոզ + CO ₂	1	10 ⁴	5,66	13.10 ⁴	5,47	43.10 ⁴	5,64	—	—
	2	10 ⁴	5,66	15.10 ⁴	5,27	48.10 ⁴	5,45	—	—
	3	10 ⁴	5,66	16.10 ⁴	5,25	48.10 ⁴	5,85	—	—
Միջինը		10 ⁴	5,66	14.7.10 ⁴	5,33	46.3.10 ⁴	5,65	—	—

Արդյունքները բերված են աղյուսակ 1-ում: Այնտեղ տեսնում ենք, որ փորձի երկրորդ և երրորդ օրերին կուլտուրայի խտությունն ամփափանային միքսոտրոֆ սնուցման պայմաններում գերազանցում էր ավտոտրոֆ և հետերոտրոֆ կուլտուրաների խտություններին: Չորրորդ օրը, հետերոտրոֆ և միքսոտրոֆ սնուցման բոլոր վարիանտներում սննդարար լուծույթները ենթարկվել էին անբավարար խմորման. կուլտուրաները ոչնչացել էին, իսկ սնուցման առաջին վարիանտի երեք սուսպենզիաները շարունակում էին խտանալ:

Այս երևույթը վկայում էր այն մասին, որ ավտոտրոֆ սնուցման վարիանտում, ներմուծված CO₂-ի քանակությունն զգալիորեն ավելի շատ էր, քան տվյալ խտության կուլտուրան կարող էր յուրացնել. սակայն, CO₂-ի ավելորդ այն քանակությունը, որը չէր օգտագործվում ֆոտոսինթեզի պրոցեսում, հեռանում էր լուծույթից առանց վնասելու ջրիմուռներին. հետերոտրոֆ և միքսոտրոֆ վարիանտներում, կուլտուրայի ամփափանային սնուցման համար հավելյալ քանակությամբ գլյուկոզա պարունակող լուծույթներում, կուտակվող ամփափթույն ոչնչացրել էր ջրիմուռներին:

Այս եզրակացությունը մեկ այլ կերպ հիմնավորելու, ինչպես նաև ավտոտրոֆ, հետերոտրոֆ և միքսոտրոֆ կուլտուրաների աճման տեմպերը համեմատելու համար փորձի չորրորդ օրը, առաջին վարիանտի երեք սուսպենզիաներից մեկին (աղ. 2-ում՝ ա) շարունակեցինք օդահարել օդի և CO₂-ի

* Փորձի այս շրջանում գլյուկոզան տրվել է ավտոտրոֆ և միքսոտրոֆ կուլտուրաներին հայթայթված CO₂-ի քանակությանը համարժեք զոդայով (ըստ ամփափանի):

նույն հոսանքով: Երկրորդ սուսպենզիային (մ) տրվող գազային այդ նույն խառնուրդին ավելացրեցինք գլյուկոզա—օրական 0,5 գրամ՝ հետերոտրոֆ և միքսոտրոֆ նախորդ կուլտուրաների համար կիրառված դոզայի (4 գ) փոխարեն: 0,5 գ գլյուկոզան ըստ ածխածնի համարժեք էր, մեր փորձի պայմաններում, ներմուծված օդի մոտավորապես 0,12%-ով հարստացմանը CO_2 -ով: Երրորդ սուսպենզիային (հ) հայթայթեցինք միայն օդ, ավելացնելով 0,5 գ գլյուկոզա:

Աղյուսակ 2

Քլորելլայի բազմացման արագությունը ածխածնային սնուցման տարրեր պայմաններում*

Սնուցման եղանակը	13/X		15/X		16/X	
	բջ/մլ	pH	բջ/մլ	pH	բջ/մլ	pH
ա) CO_2 . .	$45 \cdot 10^5$	5,58	$11 \cdot 9 \cdot 10^7$	5,5	$28 \cdot 10^7$	5,5
հ) գլյուկոզա	$11 \cdot 10^5$	5,45	$5 \cdot 3 \cdot 10^7$	5,5	$9 \cdot 1 \cdot 10^7$	5,5
մ) $\text{CO}_2 +$ + գլյուկ.	$12 \cdot 8 \cdot 10^5$	5,53	$5 \cdot 4 \cdot 10^7$	5,5	$10 \cdot 10^7$	5,5

Արդյունքները բերված են աղ. 2-ում և ցույց են տալիս, որ փորձի շորրորդ օրվա (13/X) վերջում կուլտուրայի խտությունը չորս անգամ ավելի մեծ էր ավտոտրոֆ, քան հետերոտրոֆ կամ միքսոտրոֆ սնուցման վարիանտներում. սակայն, հաջորդ երեք օրերի ընթացքում այդ տարբերությունը կրճատվել էր՝ $28 \cdot 10^7$ բջիջ/մլ (ավտ. կուլտ.), $10 \cdot 10^7$ բջիջ/մլ (միքսոտր. կուլտ.), $9 \cdot 1 \cdot 10^7$ բջիջ/մլ (հետերոտր. կուլտ.): Նշենք, որ փորձի այս շրջանում 4գ-ի փոխարեն 0,5 գ գլյուկոզա օգտագործելու դեպքում լուծույթները չենթարկվեցին խմորման: Կուլտուրայի աճման տեմպը՝ CO_2 -ի օգտագործման և ըստ ածխածնի ծանոցամ պակաս դոզայով գլյուկոզայի օգտագործման վարիանտներում գրեթե նույնն էր — $K_m = 0,597$, $K_s = 0,630$, $K_i = 0,639$, ըստ որում $K_i > K_s > K_m$ (աճման տեմպը հաշվել ենք $K = \frac{1}{t} \log \frac{N_1}{N_0}$ բանաձևի օգնությամբ, որտեղ t -ն աճման լոգարիթմիկ ֆազի տևողությունն է օրերով, N_1 -ը բջիջների քանակն է մեկ մլ-ում՝ աճման լոգարիթմիկ ֆազի վերջում, N_0 -ն բջիջների քանակն է մեկ մլ-ում՝ աճման նույն ֆազի սկզբում): Դա նշանակում է, որ ներմուծված ածխաթթու գազը մեծ մասամբ չէր օգտագործվում կուլտուրայի կողմից և անօգուտ կորչում էր:

Այստեղից հետևում է, որ միաբջիջ կանաչ ջրիմուռների մասսայական բազմացման համար հնարավոր է կիրառել ածխածնային սնուցման ավելի խնայողական եղանակ: Այս ուղղությամբ մենք կատարեցինք մեկ այլ փորձ՝ քլորելլան աճեցնելով միայն օդի ներմուծման պայմաններում (առանց խառնելու CO_2), որպեսզի որոշենք, թե օդում եղած ածխաթթու գազը որքանով է նպաստում ջրիմուռների բազմացմանը:

Երկրորդ փորձի մեթոդիկան և արդյունքները

Քլորելլան լաբորատոր պայմաններում բազմացնելու ժամանակ հաշվված է, որ 1 լ սուսպենդիան, որի խտությունն է 10^8 բջիջ/մլ, օրական կլանում է 0,8—1 լ ածխաթթու գազ [16]: Եթե ներմուծվող օդում եղած CO_2 -ը լրիվ

* Փորձի տվյալ շրջանում գլյուկոզան կիրառվել է ներմուծվող CO_2 -ի՝ ըստ ածխածնի համարժեք դոզայից 8 անգամ պակաս չափով:

շափով յուրացվեր կուլտուրայի կողմից, ապա հարկավոր կլիներ նույն խտության սուսպենզիայի յուրաքանչյուր լիտրում ներմուծել մոտավորապես 2,4 օդ մեկ րոպեում, որպեսզի կուլտուրան ստանար CO_2 -ի օրական նույն քանակությունը—ընդունելով, որ օդը պարունակում է 0,03% ածխաթթու գազ: Այս փորձի տակ դրված շորս սուսպենզիաներից երկուսին (աղ. 3-ում՝ 1ա և 1բ) տվել ենք միայն օդ՝ 2,4 լ/րոպե լուծույթի յուրաքանչյուր լիտրի հաշվով, իսկ մյուս երկուսին (նույն աղյուսակում 2ա և 2բ)՝ նույնքան օդ, զտված ածխաթթու գազից NaOH -ի և $\text{Ba}(\text{OH})_2$ -ի լուծույթների միջոցով:

Սուսպենզիաների սկզբնական խտությունը եղել է 10^7 բջ/մլ:

Կուլտուրան աճեցրել ենք սննդարար նույն լուծույթով, ջերմաստիճանի և լուսավորման նույն պայմաններում մինչև փորձի երրորդ օրը, որից հետո լուսավորումն ուժեղացրել ենք (8 հազար լյումեն)՝ խտացած սուսպենզիաները լույսով հագեցնելու համար:

Միաբջիջ կանաչ ջրիմուռների ֆոտոսինթեզի ինտենսիվության վերաբերյալ էմբրսոնի և Գրինի ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ ներմուծվող CO_2 -ի դիֆուզման աստիճանը սննդարար լուծույթում պայմանավորված է ջրածնային իոնների կոնցենտրացիայով: CO_2 -ի դիֆուզումը լուծույթում աճում է 0-ից մինչև 100% pH-ի 9 և 4 միավորների միջև, ընդ որում pH 5—6 սահմաններում դիֆուզվում է CO_2 -ի 70—90% [17]:

Ուստի, ներմուծվող օդում եղած ածխաթթու գազի դիֆուզմանը նպաստելու համար փորձի ընթացքում, pH-ի ամենօրյա չափումներին ղուգրնթաց, այն կարգավորեցինք՝ սկզբում, օրական մեկ անգամ, 6,0—6,5 սահմաններում, ազոտական թթվի 0,1 ն լուծույթով, այնուհետև օրական երկու անգամ, 6,5—7,0 սահմաններում, նույն թթվի 1 ն լուծույթով:

Փորձի արդյունքները բերված են աղյուսակ 3-ում:

Չորրորդ օրը, CO_2 -ից զտված օդի հայթայթման պայմաններում կուլտուրայի աճը կանգ էր առել, երբ այն հասել էր $4,4 \cdot 10^7$ բջ/մլ խտության. մինչև այդ, նրա ածխածնային սնուցումը, թեև խիստ անբավարար, տեղի էր ունեցել շրջապատի օդում եղած CO_2 -ի հաշվին:

Ածխաթթու գազից չզտված օդի հայթայթման պայմաններում, կուլտուրայի խտությունն այդ նույն օրը հասել էր $9,1 \cdot 10^7$ բջ/մլ (1ա) և $21,5 \cdot 10^7$ բջ/մլ (1բ), իսկ հաջորդ օրը, համապատասխանորեն՝ $17 \cdot 10^7$ բջ/մլ և $40 \cdot 10^7$ բջ/մլ: Այս վերջին խտության հասնելուց հետո կուլտուրայի աճը դադարել էր և սկսվել էր խտության նվազում՝ CO_2 -ի պակասի հետևանքով (10^8 բջ/մլ և ավելի մեծ խտությունների հասած կուլտուրայի մոտ, սննդարար լուծույթի pH-ի արագ բարձրացումը, մեր կողմից կատարված յուրաքանչյուր կարգավորումից հետո թույլ չէր տալիս, որ ներմուծվող օդի CO_2 -ը բավարար չափով դիֆուզվեր բաղմացման միջավայրում):

Փորձի արդյունքները ցույց են տալիս, որ CO_2 -ի ցածր կոնցենտրացիան օդում (0,03—0,06%) չի սահմանափակում բլորելլայի բաղմացումը, եթե կիրառվում է լուծույթի օդահարման արդյունավետ եղանակ և նրա pH-ը շարունակ կարգավորվում է որոշակի սահմաններում [6—7]:

Բլորելլայի (*Chlorella pyrenoidosa* Pringsh—82) ածխածնային սնուցման տարբեր եղանակների էֆեկտիվության համեմատության նպատակով կատարված մեր փորձի արդյունքները մեզ բերում են հետևյալ եզրակացություններին:

Քլորելայի բազմացումը օդի, որպես ածխածնի միակ աղբյուրի, ներմուծման և սննդարար լուծույթի pH-ի կարգավորման պայմաններում

Ներմուծված օդի կազմը	26/X		27/X		28/X		29/X			30/X		31/X		1/XI	
	բջ/մլ	pH	բջ/մլ	pH*	բջ/մլ	pH	բջ/մլ	pH**		բջ/մլ	pH	բջ/մլ	pH	բջ/մլ	pH
օդ՝ բնական վիճակում	$\left\{ \begin{array}{l} 1ա \\ 1բ \end{array} \right.$	10 ⁷	5,6	4 · 10 ⁷	$\frac{7,1}{6,2}$	6 · 10 ⁷	$\frac{7,8}{6,5}$	9.1 · 10 ⁷	$\frac{9}{6,8}, \frac{8,1}{6,6}$	17 · 10 ⁷	$\frac{9,2}{6,6}, \frac{8,2}{6,5}$	18.5 · 10 ⁷	$\frac{9,2}{6,7}, \frac{7,9}{6,7}$	20 · 10 ⁷	7,9
		10 ⁷	5,6	3.2 · 10 ⁷	$\frac{7,1}{6,2}$	14.7 · 10 ⁷	$\frac{7,9}{6,5}$	21.5 · 10 ⁷	$\frac{9}{6,8}, \frac{8,3}{6,7}$	40 · 10 ⁷	$\frac{9,1}{6,6}, \frac{8,2}{6,5}$	36.5 · 10 ⁷	$\frac{9,1}{6,7}, \frac{7,9}{6,7}$	31.5 · 10 ⁷	8,1
օդ՝ գտնված CO ₂ -ից	$\left\{ \begin{array}{l} 2ա \\ 2բ \end{array} \right.$	10 ⁷	5,6	1.2 · 10 ⁷	6,5	4.2 · 10 ⁷	6,9	4.2 · 10 ⁷	—	—	—	—	—	—	—
		10 ⁷	5,6	1.4 · 10 ⁷	6,5	4.4 · 10 ⁷	6,8	4.4 · 10 ⁷	—	—	—	—	—	—	—

* Կոտորակի համարին արտահայտում է լուծույթի pH-ը մինչև կարգավորումը, իսկ հայտարարը՝ կարգավորումից հետո:

** Առաջին կոտորակն արտահայտում է առավոտյան մ. 9-ին վերցված նմուշների pH-ը (կարգավորումից առաջ և հետո), իսկ երկրորդը՝ մ. 16-ին վերցված նմուշներինը:

1. Բազմաջման բաց սիստեմներում սննդարար լուծույթին տրվող ածխաթթու գազի մեծ մասը չի օգտագործվում կուլտուրայի կողմից:

2. Կուլտուրայի աճման տեմպերը՝ ածխածնային ավտոտրոֆ (ա), հետերոտրոֆ (հ), միքսոտրոֆ (մ) սնուցման առաջին շրջանում), երբ կուլտուրան դեռ նոսր է, մինչև 0,5 միլիոն բջ/մլ, արտահայտվում են հետևյալ կերպ՝ $K_m \geq K_a > K_h$ իսկ այնուհետև, երբ կուլտուրան խտանում և հասնում է 300 միլիոն բջ/մլ և ավելի մեծ խտությունների, աճման տեմպերի համեմատությունը դառնում է $K_h > K_m > K_a$: Այլ կերպ ասած, բլորելլայի կարբոհետերոտրոֆ աճման արագությունը գերազանցում է նրա կարբոավտոտրոֆ աճման արագությանը այն ժամանակ, երբ կուլտուրան խտանում է և ֆոտոսինթեզի ինտենսիվությունը սահմանափակվում է լույսի պակասությամբ:

3. Կուլտուրայի ածխածնային սնուցման խնայողական եղանակ գտնելու նպատակով կատարված փորձի արդյունքները ցույց են տալիս, որ սննդարար լուծույթի արդյունավետ օդահարման և նրա pH-ի կարգավորման պայմաններում (6—7 սահմաններում), CO₂-ի ցածր կոնցենտրացիան օգուտ չի սահմանափակում ջրիմուռների բազմացումը, քանի դեռ կուլտուրան չի հասել որոշ խտության, որը մեր փորձի պայմաններում եղել է 400 միլիոն բջ/մլ:

ՀՍՍՌ ԳԱ ագրոքիմիայի լաբորատորիա

Ստացվել է 8.X 1964 թ.

Н. П. АРУТЮНЯН

ЗНАЧЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ УГЛЕРОДНОГО ПИТАНИЯ ДЛЯ СКОРОСТИ РОСТА ХЛОРЕЛЛЫ

Р е з ю м е

1. Опыт по сравнению эффективности разных способов углеродного питания одноклеточных зеленых водорослей (*Chlorella pyrenoidosa* Pringsheim — 82) показал следующее:

а) преобладающая часть углекислого газа, продуваемая в открытых системах выращивания, не используется культурой;

б) темпы карбоавтотрофного, карбогетеротрофного и миксотрофного роста культуры в начальном периоде, т. е., когда плотность культуры сравнительно низкая (до 0,5 млн клеток/мл), выражаются в следующем порядке: $K_m \geq K_a > K_h$; а затем, с повышением плотности культуры (300 млн/мл и больше) сравнение темпов роста выражается в порядке: $K_h \geq K_m > K_a$. Таким образом, скорость гетеротрофного роста хлореллы превосходит скорость его автотрофного роста тогда, когда интенсивность фотосинтеза ограничивается недостатком освещения плотной культуры.

2. Опыт по изысканию более экономичного способа углеродного питания показал, что при сильном продувании раствора только воздухом и регулировании его pH (в пределах 6—7), низкая концентрация углеродного газа в воздухе не ограничивает рост культуры до определенной плотности (в условиях нашего опыта: 400 млн кл/мл).

Գ Ր Ա Կ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն

1. Osterlind S. *Physiol. Plantarum*, 3, 403—408, 1952.
2. Steeman-Nielsen E. *Nature*, 171, p. 1106, 1953.
3. Eny D. M. *Plant physiology*, 25, № 3, 1950.
4. Griffiths D. J. et al. *Annals of Botany*, vol. 24, № 93, 1960.
5. Минеева Л. Н. *Микробиология* 30, № 4, 586—592, 1961.
6. Myers J. and Johnston J. A. *Plant physiol.*, 24, 111, 1949.
7. Killam A. and Myers J. *Amer. J. of Bot.*, 42 (8): 569—72, 1956.
8. Danforth W. *Arch. Biochem. Biophys.* 46, 164—170, 1953.
9. Bristol-Roach B. M. *Ann. Bot.*, 42, 317, 1928.
10. Pearsall W. H. and Bengry R. P. *Annals of Bot.*, № 5, 485, 1940.
11. Pruess L. et al. *Applied Microbiology*, 2, 125—130, 1954.
12. Griffiths D. J. *Annals of Bot.*, 25, № 98: 85—93, 1961.
13. Myers J. *Annual Review of Microb.*, 5, 157—160, 1951.
14. Spoehr H. A., Milner H. W. *Plant physiol.*, 24, 120—150, 1949.
15. Krauss R. W. and Thomas W. N. *Algal Culture*, 85—102, 1952.
16. Ничипорович А. А., Семеновко В. Е., Владимирова М. Г. *Известия АН СССР, сер. биол.*, 2, 1962.
17. Emerson R. and Green L. F. *Plant physiol.*, 13:157—163, 1938.