НИЦ «Замкнутые экосистемы» Часть V

Звено «Высшие растения» (Результаты)

По возникающим вопросам обращаться по e-mail: ibp@ibp.ru

Глава 6

БИОХИМИЧЕСКИЙ И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ, ВЫРАЩЕННЫХ В СЖО, И ОБЕСПЕЧЕННОСТЬ ИМИ ПИЩЕВЫХ ПОТРЕБНОСТЕЙ ЭКИПАЖА

Большинство исследований по биохимическому и минеральному составу растений, выращенных на искусственном освещении, касаются лишь отдельных культур и некоторых компонентов биомассы (Дадыкин и др., 1967; Лебедева и др., 1969; Балашова, 1969; Шатилов и др., 1973; Розов, 1973). Экспериментальная оценка качества биомассы растений одних и тех же культур и сортов, выращенных в искусственных и естественных условиях, отсутствует. Также нет данных по химии и биохимии растений, выращенных в условиях СЖО.

Для получения ответов на эти вопросы проведены исследования биохимического состава зерна нескольких поколений пшеницы, выращенной при круглосуточном освещении в фитотроне, в сравнении с исходным, выращенным в поле. Эти исследования не выявили существенных различий в содержании белков, аминокислот, жиров и фракций углеводов в исходном, полевом зерне и выращенном в фитотроне (Трубачев и др., 1970; Гительзон и др., 1975).

Аналогичные исследования (Трубачев и др., 1975) проведены с использованием набора овощных культур (морковь, свекла, редис, репа, томаты, огурцы, лук). Анализы показали, что морковь, свекла и огурцы из фитотрона содержали меньше сахаров, но больше клетчатки и азотистых веществ. По содержанию аминокислот овощи из фитотрона превосходили полевые (главным образом за счет дикарбоновых кислот), а по сумме незаменимых очень сходны. По содержанию аскорбиновой кислоты и каротина различия незначительны.

Минеральный анализ не выявил существенных различий (кроме калия — морковь, репа) в содержании макроэлементов. Что касается микроэлементов, то следует отметить повышенное содержание (до 10 раз) никеля, молибдена, хрома в овощах, выращенных в фитотроне. Это объясняется обогащением питательной среды за счет их выноса из конструкций фитотрона (нержавеющая сталь).

В описываемом эксперименте продолжено изучение биохимического и минерального состава растений (табл. 11). Содержание безазотистых веществ (водорастворимые сахара, крах-

Таблица 11

Биохимический состав съедобной части растений, выращенных в СЖО, по этапам, % на абсолютно сухое вещество

Культура	Водорастворимые сахара			Углеводы типа крахмала			Углеводы типа гемицеллюлоз			Углеводы типа клетчатки			Органические кислоты*		Сырой протеин		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	свободные	связанные	I	II	III
Пшеница	3,6	4,5	3,7	63,0	64,0	62,3	9,8	10,6	10,2	2,3	2,6	2,7	0,4	—	16,0	14,0	13,4
Чуфа	5,0	5,5	6,0	45,2	49,0	49,2	10,1	9,2	8,6	4,1	4,2	4,6	0,45	—	7,5	8,1	7,8
Морковь	—	43,3	45,2	—	4,6	5,5	—	4,0	4,3	—	7,2	6,9	1,2	3,4	—	8,8	8,7
Свекла (корнеплоды)	41,8	42,5	50,0	2,7	1,7	2,9	1,1	1,3	2,0	6,0	7,2	5,8	1,2	6,6	—	20,3	20,6
Свекла (листья)	12,0	9,0	10,4	2,6	1,8	2,2	2,0	4,8	3,4	7,3	8,0	6,2	1,8	8,8	18,1	29,4	25,0
Капуста	18,8	—	17,0	5,2	—	4,0	4,5	—	5,1	7,0	—	6,6	1,0	11,6	22,0	—	22,5
Картофель	—	7,6	9,8	—	57,0	53,0	—	11,4	10,6	—	3,3	4,0	1,0	5,0	—	10,0	10,1
Редис	23,5	21,2	24,0	2,9	3,3	3,6	3,1	4,3	4,2	6,0	5,6	6,2	1,6	7,5	13,1	17,8	16,6
Щавель	5,5	4,9	6,3	24,8	26,0	24,5	5,4	3,7	3,3	7,6	6,8	7,4	7,4	8,6	13,2	12,5	14,9
Лук	22,8	30,0	33,0	4,2	3,1	4,2	2,4	2,6	3,0	6,1	5,4	5,8	1,2	8,0	9,4	6,3	7,5
Огурцы	—	23,7	21,6	—	0,6	3,6	—	2,4	3,4	—	7,0	6,0	4,1	7,1	—	26,2	23,8
Укроп	—	14,0	16,9	—	6,7	6,8	—	3,6	4,6	—	7,8	8,2	1,1	9,7	—	22,5	20,6

Примечание. Прочерк показывает, что определение не проводилось.
* Среднее содержание за эксперимент.

Таблица 12

Аминокислотный состав съедобной части растений, выращенных в I этапе эксперимента, % на сухое вещество

Аминокислота	Пшеница		Чуфа	Редис	Листья свеклы	Капуста	Лук	Щавель
	в СЖО	в поле						
Лизин	0,32	0,42	0,17	0,21	0,28	0,47	0,07	0,28
Гистидин	0,29	0,34	0,08	0,19	0,16	0,26	0,05	0,17
Аргинин	0,56	0,73	1,46	0,37	0,35	0,63	0,09	0,40
Аспарагиновая	0,77	0,78	0,36	1,06	1,10	1,51	0,52	0,98
Треонин	0,45	0,48	0,13	0,52	0,57	0,77	0,27	0,49
Серин	0,79	0,78	0,13	0,58	0,58	0,76	0,29	0,48
Глютаминовая	5,78	5,71	0,36	2,25	2,12	2,03	0,91	1,46
Пролин	2,09	1,89	0,15	0,53	0,60	0,62	0,25	0,60
Глицин	0,73	0,72	0,13	0,53	0,65	0,83	0,30	0,70
Аланин	0,57	0,59	0,20	0,61	0,72	0,96	0,37	0,66
Цистин	0,38	0,34	0,03	0,23	0,17	0,23	0,09	0,11
Валин	0,61	0,62	0,15	0,62	0,64	0,77	0,28	0,53
Метионин	0,22	0,25	0,05	0,18	0,16	0,27	0,12	0,16
Изолейцин	0,47	0,46	0,09	0,42	0,44	0,61	0,21	0,41
Лейцин	1,15	1,11	0,20	0,81	0,90	1,24	0,42	0,90
Тирозин	0,62	0,43	0,07	0,31	0,38	0,50	0,18	0,34
Фенилаланин	0,83	0,69	0,10	0,46	0,50	0,78	0,21	0,53
Всего	16,63	16,34	3,86	9,88	10,32	13,24	4,63	9,20

мал, гемицеллюлоза, клетчатка, органические кислоты) по этапам эксперимента мало изменялось. В содержании аминокислот и сырого протеина (табл. 12—14) заметные изменения отмечены в зерне пшеницы — уменьшение при переходе ко II и III этапу. При этом процент незаменимых аминокислот от их общей суммы по этапам эксперимента оставался без изменений (30—31%) и был даже несколько выше по сравнению с пшеницей того же сорта, выращенной в поле (29%). По сумме всех аминокислот полевое зерно полностью сходно с таковым из СЖО I этапа (16,34 и 16,63% на абсолютно сухой вес).

По содержанию и свойствам клейковины, хлебопекарным качествам зерно пшеницы, выращенное в фитотронах, получило в технологической лаборатории Красноярского НИИ сельского хозяйства отличную оценку. Среди овощных культур наибольшее колебание суммы аминокислот отмечено у

Таблица 13

Аминокислотный состав съедобной части растений, выращенных во II этапе эксперимента, % на сухое вещество

Аминокислота	Пшеница	Чуфа	Редис	Корнеплоды свеклы	Листья свеклы	Лук	Щавель	Картофель	Укроп	Морковь
Лизин	0,32	0,18	0,13	0,22	0,26	0,04	0,23	0,31	0,65	0,09
Гистидин	0,27	0,06	0,12	0,16	0,16	0,03	0,12	0,12	0,31	0,08
Аргинин	0,56	1,38	0,19	0,31	0,38	0,12	0,31	0,30	0,68	0,21
Аспарагиновая	0,66	0,41	0,95	0,75	1,18	0,28	0,93	1,59	1,70	0,68
Треонин	0,38	0,15	0,44	0,35	0,50	0,12	0,45	0,37	0,82	0,28
Серин	0,62	0,14	0,45	0,41	0,50	0,14	0,47	0,39	0,82	0,32
Глютаминовая	3,93	0,43	3,37	7,92	4,62	0,62	1,35	1,56	2,19	2,04
Пролин	1,45	0,13	0,50	0,37	0,54	0,17	0,64	0,40	0,86	0,31
Глицин	0,54	0,17	0,49	0,40	0,66	0,19	0,54	0,37	0,93	0,30
Аланин	0,47	0,25	0,55	0,50	0,76	0,18	0,60	0,47	1,20	0,38
Цистин	0,32	0,02	0,17	0,15	0,20	0,07	0,12	0,14	0,24	0,07
Валин	0,54	0,18	0,55	0,39	0,62	0,18	0,59	0,52	1,09	0,30
Метионин	0,18	0,05	0,16	0,10	0,16	0,06	0,12	0,15	0,36	0,06
Изолейцин	0,38	0,10	0,30	0,25	0,39	0,12	0,39	0,32	0,73	0,24
Лейцин	0,86	0,21	0,67	0,43	0,72	0,21	0,84	0,63	1,56	0,44
Тирозин	0,41	0,07	0,25	0,25	0,25	0,07	0,33	0,25	0,62	0,16
Фенилаланин	0,57	0,10	0,40	0,25	0,46	0,13	0,51	0,38	0,91	0,26
Всего	12,46	4,03	9,69	13,21	12,36	2,73	8,54	8,27	15,67	6,22

Таблица 17

Липиды в зерне пшеницы, выращенной в СЖО

Дата	Общие липиды, % на сухое вещество	Сумма жирных кислот, % от липидов	Жирные кислоты, % от суммы							
			тетрадеценовая (14:1)	пальмитиновая (16:0)	пальмитолеиновая (16:1)	стеариновая (18:0)	олеиновая (18:1)	линолевая (18:2)	линоленовая (18:3)	эйкозановая (20:0)
I этап										
6/II	3,5	53,8	0,2	22,0	Сл.	0,7	14,8	58,4	3,9	Сл.
15/II	3,7	54,8	0,2	20,7	2,7	0,6	16,9	56,1	2,8	»
II этап										
5/III	2,8	78,0	—	17,5	0,6	0,5	17,2	61,2	3,0	»
13/III	2,8	73,5	—	17,6	Сл.	1,0	15,4	61,7	4,3	»
III этап										
1/IV	2,8	53,6	—	20,0	Сл.	0,6	15,3	60,2	2,9	0,7
10/IV	3,2	66,9	—	22,6	»	0,4	17,6	55,6	3,4	0,4
19/IV	4,1	54,4	—	19,4	»	0,8	23,4	52,7	3,4	0,3
28/IV	4,5	56,8	—	18,6	»	0,6	17,2	59,5	3,9	0,2
7/V	3,4	54,7	—	17,0	»	0,5	16,5	60,6	4,9	0,4
16/V	4,1	53,2	—	17,0	»	0,8	17,7	59,4	4,6	0,4
26/V	3,4	54,2	Сл.	21,9	»	0,5	16,9	57,2	3,1	0,4

Основные жирные кислоты зерна пшеницы — пальмитиновая (0,30—0,48% на сухой вес), олеиновая (0,28—0,51%), линолевая (1,03—1,55%), линоленовая (0,04—0,10). Стеариновая, пальмитолеиновая и эйкозановая кислоты не превышали 0,2%, а лауриновая, миристиновая и пентадекановая в основном определялись в следовых количествах. Эссенциальная — линолевая кислота — в зерне пшеницы преобладает (около 60% общей суммы жирных кислот). Другая полиненасыщенная жирная кислота — линоленовая — в настоящее время не относится к незаменимым (Покровский, 1975). Качественный и количественный состав липидов исследованной пшеницы существенно не отличался от характеристик, приводимых в литературе (Кретович, 1973; Мадреимов, 1976).

Следует отметить, что в настоящее время предложен достоверный метод определения биологической ценности жиров по их влиянию на жирнокислотный состав клеточных мембран. Первое место среди полиеновых жирных кислот мембран принадлежит арахидоновой кислоте. Жиры, обеспечивающие поддержание «нормальной» жирнокислотной формулы мембран,

Таблица 18

Содержание витаминов в съедобной части растений, выращенных в СЖО по этапам, мг % на сырой вес

Культура	Аскорбиновая кислота			Каротин			Тиамин			Рибофлавин		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Пшеница . . .	0	0	0	0	0	0	0,34	0,24	0,30	0,24	0,25	0,21
Чуфа	0	0	0	0	0	0	0,42	0,33	0,30	0,39	0,23	0,22
Морковь . . .	—	5,6	6,6	—	9,4	6,8	—	0,06	0,08	—	0,11	0,05
Свекла (корнеплоды) . . .	9,0	6,8	7,6	—	—	—	0,07	0,02	0,02	—	0,18	0,07
Свекла (листья)	16,2	24,4	6,9	0,8	0,8	1,6	0,01	0,02	0,03	0,23	0,25	0,11
Капуста . . .	81,7	—	55,8	3,2	—	1,4	0,04	—	0,06	0,15	—	0,13
Картофель . .	—	14,2	13,3	0	0	0	—	0,03	0,03	—	0,07	0,09
Редис	42,6	28,4	25,2	Сл.	Сл.	Сл.	—	0,01	0,01	0,08	0,06	0,06
Щавель . . .	16,4	—	21,0	1,9	—	1,5	0,05	—	0,04	0,18	—	0,14
Лук	11,2	10,6	8,5	0,21	—	—	0,02	0,02	0,03	0,10	0,04	0,05
Огурцы . . .	—	6,0	8,8	—	—	—	—	0,01	0,03	—	0,04	0,03
Укроп	—	63,4	44,4	—	2,7	2,6	—	0,22	0,05	—	0,42	0,17

считаются полноценными (Покровский, 1974). По-видимому, такая оценка качества жиров будет необходима при использовании в пищу нетрадиционных источников жиров.

Основным источником витаминов в эксперименте были высшие растения. Аскорбиновая кислота в значительном количестве содержалась в укропе, капусте, щавеле и редисе (табл. 18). Содержание этого витамина в III этапе по сравнению с I и II увеличивалось (щавель, морковь), уменьшалось (укроп, капуста, листья свеклы, редис) или практически мало изменялось (свекла, картофель, лук).

Основным продуцентом каротина была морковь, количество каротина в ней в конце II и в III этапе значительно снизилось, но оставалось бóльшим, чем при выращивании в «Биос-3» до опыта. В других источниках каротина отмечалось его увеличение (листья свеклы) или снижение (капуста) в III этапе.

Овощные культуры, выращенные в СЖО (кроме редиса, капусты, картофеля), характеризовались некоторым снижением содержания рибофлавина к концу опыта. В корнеплодах свеклы и в укропе стало меньше тиамина; в моркови, огурце, луке, листьях свеклы и капусте — больше.

Для выявления корреляции в содержании витаминов в листьях, стеблях и корнеплодах, плодах, клубнях, а также с целью поиска возможных дополнительных источников витаминов в СЖО исследовали несъедобную часть моркови, редиса, огурца и картофеля. Анализы показали, что неиспользуемая

в пищу часть этих культур содержит в 1,5—3 раза больше рибофлавина и аскорбиновой кислоты, чем съедобная часть. В листьях и стеблях овощей, так же как и в корнеплодах, отмечено уменьшение содержания рибофлавина и аскорбиновой кислоты в III этапе.

Основными источниками витаминов группы В в эксперименте были чуфа и пшеница. Анализ клубеньков чуфы показал, что они содержат больше тиамина, чем зерно пшеницы, и не уступают ему по количеству рибофлавина. Для этих культур отмечены некоторые колебания в содержании тиамина и рибофлавина с уменьшением во II и III этапах. Следует отметить, что содержание тиамина в зерне пшеницы, выращенной в СЖО, на 25—30% ниже, чем в зерне, выращенном в «Биос-3» до замыкания системы или в полевых условиях. Литературные данные (Плешков, 1975) также указывают на более высокое содержание этого витамина в зерне пшеницы полевого урожая. Для выяснения причин ослабленного синтеза тиамина в СЖО необходимы дополнительные исследования, поскольку в проведенном эксперименте обеспеченность этим витамином за счет внутрисистемного синтеза была недостаточной.

Анализ минерального состава растений по этапам эксперимента (табл. 19) показал, что содержание калия, натрия, фосфора, магния, кальция, марганца, молибдена и бора практически не изменилось. Так же не было замечено изменений в потреблении элементов растениями, выращенными в СЖО на бессменных растворах, по сравнению с растениями, выращенными на сменяемых растворах в тех же фитотронах перед началом опыта. Содержание таких микроэлементов, как цинк, никель, железо, титан, ванадий, хром, алюминий, медь, достоверно увеличивалось в растениях от I к III этапу. Элементы накапливались всеми частями растений, причем съедобными в большей степени, чем несъедобными (рис. 17). Причиной накопления было внутрисистемное поступление элементов в питание растений из конструктивных материалов. Исключение составляло железо, увеличение содержания которого в растениях объяснялось поэтапным ростом его во внешней подаче в питательный раствор.

Среди исследуемых растений в капусте установлено наибольшее накопление элементов за эксперимент. Содержание титана в III этапе по сравнению с I увеличилось в 72 раза (от 0,15 до 10,8 мг%), алюминия и железа — в 30 раз (от 4,6 до 143,0 и от 2,5 до 74 мг% соответственно), никеля — в 4 раза (от 0,65 до 2,75 мг %), хрома и ванадия возросло от 0 до 3 и 0,3 мг % соответственно. Вторым растением после капусты по степени накопления элементов оказалась чуфа, в клубнях ее содержание алюминия возросло в 23 раза (от 0,5 до 11,4 мг %), титана — в 80 раз (от 0,02 до 1,6 мг %) и железа — в 3

Таблица 19

Минеральный состав съедобной части растений, выращенных в СЖО

Культура	Макроэлементы, % на сухое вещество							Микроэлементы, мг % на сухое вещество										
	фосфор	магний	сера	калий	натрий	кальций	железо	никель	медь	цинк	марганец	бор	алюминий	ванадий	титан	молибден	хром
Пшеница	0,52	0,18	0,22	0,50	0,01	0,07	3,15	0,32	0,90	4,70	4,86	0,47	4,58	0	0,18	0,10	0,23
Чуфа	0,43	0,15	0,14	0,44	0,01	0,05	5,13	0,56	0,71	1,62	0,33	0,67	5,57	0,03	1,02	0,05	0
Картофель	0,61	0,19	0,32	3,78	0,01	0,28	8,08	0,07	0,98	2,53	1,40	1,07	12,33	0,11	0,77	0,08	0
Огурцы	0,90	0,36	0,40	4,62	0,02	0,54	7,30	1,12	0,81	2,50	1,41	6,56	1,88	0	0	0,04	0
Редис	0,73	0,23	0,77	5,96	0,05	0,57	7,16	0,62	0,63	3,99	0,97	5,04	7,73	0,08	0,52	0,14	0
Свекла (корнеплод)	0,47	0,39	0,22	3,65	0,04	0,26	4,58	0,59	1,01	2,81	2,59	4,57	2,65	0	0,18	0,02	0
Свекла (листья)	0,54	1,01	0,41	7,49	0,23	1,73	6,17	0,23	0,90	1,79	4,30	15,03	3,50	0	0,27	0,08	0
Морковь	0,48	0,15	0,21	2,66	0,05	0,32	4,27	0	0,58	1,74	0,83	4,42	3,07	0	0,04	0,04	0
Капуста	0,67	0,41	0,50	5,57	0,04	2,15	38,25	1,70	0,78	2,66	3,80	13,30	73,83	0,16	5,48	0,46	1,50
Укроп	0,56	0,38	0,68	6,50	0,03	1,22	7,40	0,63	0,53	2,28	2,55	8,97	9,06	0,10	0,42	0,33	0
Щавель	0,40	0,72	0,29	3,69	0,03	0,67	4,93	1,14	0,35	3,28	3,10	4,13	1,53	0	0,14	0,05	0
Лук	0,29	0,14	0,25	1,46	0,01	0,39	3,20	0,32	0,20	1,02	0,81	2,53	0,67	0	0,06	0,05	0

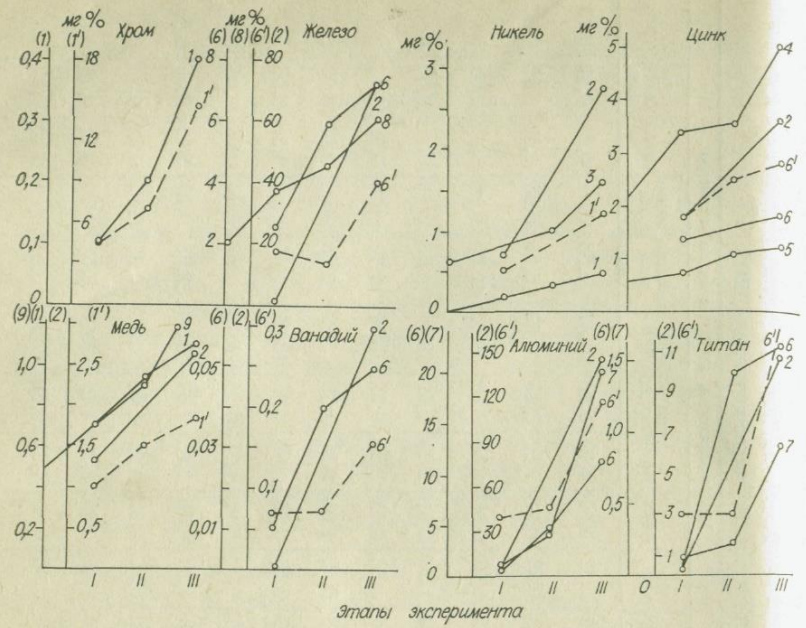

Рис. 17. Содержание микроэлементов в съедобной биомассе растений, выращенных в СЖО.

1 — зерно пшеницы; *1′* — солома пшеницы; *2* — капуста; *3* — щавель; *4* — корнеплоды редиса; *5* — лук; *6* — клубеньки чуфы; *6′* — листья чуфы; *7* — укроп; *8* — свекла (корнеплоды); *9* — картофель (клубни).

раза (от 2,4 до 7,1 мг %). На третьем месте по степени накопления элементов стоит укроп. В нем концентрация алюминия увеличилась в 11 раз (с 1,85 до 21 мг %), титана — в 7 раз (с 0,13 до 0,91 мг %), никеля, цинка, железа — в 2 раза. В зерне пшеницы к концу эксперимента по сравнению с началом никеля стало больше в 3 раза, хрома — в 4, цинка и меди — в 2 раза. К растениям, мало изменившим минеральный состав в процессе эксперимента, можно отнести огурцы, щавель, морковь. Сравнение минерального состава растений, выращенных в СЖО, с полевыми культурами, по литературным данным (Ковальский, 1974; Chapman, 1966; Покровский, 1966; Коломийцева и др., 1970; Трубачев и др., 1975), показало, что, несмотря на установленное в эксперименте накопление ряда элементов, в большинстве случаев их количество не выходило за пределы допустимого. В эксперименте не обнаружено факта ингибирования роста растений. Напротив, продуктивность большинства культур к концу эксперимента была выше, чем в начале его. Однако следует отметить, что допустимые пределы потребления растениями элементов довольно широки; это должно быть учтено при составлении рациона.

Таблица 20

Обеспеченность экипажа пищевыми веществами за счет съедобной части растений, выращенных в СЖО (по этапам)

Пищевые вещества	Физиологическая норма для экипажа		Обеспеченность, %					
			фактическая			потенциальная		
	I	II, III	I	II	III	I	II	III
Белки, г	230,0	165,0	28,7	33,9	32,1	31,7	44,8	44,9
растительные	102,0	73,0	64,7	76,7	72,6	71,5	101,4	101,6
Аминокислоты, г								
триптофан*	2,6	1,8	16,4	20,6	19,8	16,4	23,0	23,1
лейцин	12,8	9,2	27,9	26,9	26,7	30,9	33,5	33,5
изолейцин	8,9	6,4	17,2	17,8	16,9	19,2	22,5	21,6
валин	8,9	6,4	23,9	27,2	24,1	26,6	34,4	31,6
треонин	6,4	4,6	25,8	28,7	27,0	29,1	36,9	36,1
лизин	10,2	7,3	12,9	16,2	16,6	14,1	20,0	21,4
метионин	7,7	5,5	9,4	9,8	10,9	10,5	12,0	14,2
фенилаланин	7,7	5,5	31,2	27,6	27,3	33,9	33,4	34,2
гистидин	4,5	3,2	21,3	22,5	23,8	22,7	26,9	29,4
аргинин	14,1	10,1	38,9	49,2	57,0	39,8	62,8	79,8
цистин	6,4	4,6	16,4	15,2	17,4	17,3	17,8	20,4
тирозин	8,9	6,4	19,9	16,6	16,6	21,2	20,0	20,0
аланин	7,7	5,5	28,8	33,1	32,7	31,9	44,0	44,0
серин	7,7	5,5	31,5	31,6	31,6	34,7	38,9	39,6
глютаминовая	40,9	29,4	38,3	34,4	35,6	40,5	42,4	43,5
аспарагиновая	15,3	11,0	22,4	29,4	25,4	25,3	34,9	35,1
пролин	12,8	9,2	41,9	35,0	37,2	43,8	39,3	41,9
гликокол	7,7	5,5	30,0	30,9	30,1	33,1	38,9	38,5
Углеводы, г	1151,0	826,0	33,4	41,6	38,3	35,2	52,1	53,4
крахмал	1023,0	734,0	26,8	34,2	33,1	27,3	41,0	41,6
моно- и дисахариды	128,0	92,0	33,6	47,8	53,3	42,6	76,2	85,2
балластные вещества	64,0	46,0	118,7	145,6	143,5	124,2	190,4	193,3
Жиры, г	230,0	165,0	29,2	40,9	43,8	29,2	52,9	61,6
растительные	56,0	40,0	119,8	169,0	180,1	119,8	218,2	254,2
полиненасыщенные жирные кислоты	10,2	7,3	73,5	112,3	110,9	73,5	139,7	147,9
Органические кислоты, г	5,1	3,7	170,6	191,9	208,1	264,7	354,0	394,6
Аскорбиновая кислота, мг	150,0	110,0	96,8	84,1	88,4	130,3	187,8	175,4
Тиамин, мг	5,0	3,2	43,4	46,9	50,0	45,0	65,6	68,8
Рибофлавин, мг	6,0	4,0	38,3	40,0	35,0	46,7	67,5	57,5
Каротин, мг	10,0	7,3	130,0	235,6	269,9	258,0	668,5	578,1

* Обеспеченность триптофаном рассчитана исходя из его содержания в зерне пшеницы (0,13% на абсолютно сухой вес) и в клубеньках чуфы (0,05%).

Общая суточная потребность экипажа в пищевых веществах и степень обеспеченности ими за счет внутрисистемного синтеза растениями показана в табл. 20. Фактическая обеспеченность углеводами увеличивалась от I к III этапу и составляла 33—42%, по растительным белкам она достигала 65—77%.

Потребности испытателей по большинству аминокислот удовлетворялись в течение всех трех этапов примерно в одинаковой степени, несмотря на некоторое увеличение съедаемого

количества продуктов внутрисистемного синтеза на II и III этапах. Это объясняется падением белковости зерна пшеницы на II и III этапах. Расчеты показали наибольшую обеспеченность экипажа по аргинину, аланину, фенилаланину, глютаминовой кислоте, пролину и наименьшую — по метионину, цистину, лизину, изолейцину и тирозину. В связи с тем, что не вся производимая в системе съедобная биомасса потреблена экипажем, приведен расчет его потенциальной обеспеченности по фактически синтезированным высшими растениями продуктам (см. табл. 20). По углеводам и растительным белкам потенциальная обеспеченность экипажа была существенно больше фактической.

С учетом потребления пшеницы и чуфы испытателями рассчитан процент их фактической обеспеченности растительными жирами и эссенциальными жирными кислотами. На I этапе каждым испытателем потреблялось 22,3 г растительного жира в сутки, на II и III этапах — 33,8 и 36,1 г, что составляло 120% потребности на I этапе и 169 и 180% на II и III. Обеспеченность линолевой кислотой составляла 73,5% на I и 112 и 111% на II и III этапах. Обеспеченность растительными жирами при использовании всей выращенной чуфы могла бы составить 218 и 254%, а линолевой кислотой — 140 и 148% на II и III этапах соответственно.

При используемом наборе культур фактическая потребность испытателей в витаминах удовлетворена не полностью, кроме каротина, избыток которого на II и III этапах объясняется увеличением (в 2—3 раза) количества моркови в рационе. Потребность экипажа в витамине С на всех этапах удовлетворена почти полностью. Основным его поставщиком был редис.

Овощные культуры — посредственные источники тиамина и рибофлавина. Основной вклад в обеспечение испытателей этими витаминами вносили пшеница и чуфа — 47% тиамина и 38 рибофлавина.

За счет продуктов, синтезируемых в системе, полностью удовлетворялась потребность экипажа в фосфоре, магнии, хроме, марганце, меди, цинке, железе; на 60—70% — в сере, калии, молибдене, на 40% — в кальции и лишь на 1% — в натрии (табл. 21). Из продуктов, синтезируемых в системе, наибольшая доля марганца, меди, цинка, хрома, алюминия, фосфора, серы поступала в рацион с зерном пшеницы; титана, ванадия, никеля — с чуфой; бора, калия, кальция — с овощами. В лиофилизированных продуктах содержалась основная доля натрия, олова и хрома, 50% железа и серы от общего их количества в рационе. Оценивая общую обеспеченность экипажа элементами, можно отметить, что только по кальцию она ниже нормы. В дальнейших экспериментах следует увеличить введение в рацион продуктов, богатых кальцием. Что касается остальных элементов, приведенных в табл. 21, то обеспеченность ими экипажа либо соответствовала норме, либо превосходила

Таблица 21

Фактическая обеспеченность экипажа минеральными элементами

Элемент	Физиологическая норма для экипажа, мг/сут	Этап	Обеспеченность, %		
			за счет продуктов, синтезируемых внутри системы	за счет лиофилизированных продуктов	всего, %
Фосфор	3200	I	123,1	71,6	194,7
	2290	II	145,0	91,3	236,3
	2290	III	138,4	86,5	224,9
Магний	1020	I	157,8	35,3	193,1
	730	II	164,4	56,2	220,6
	730	III	146,6	79,4	226,0
Сера	2680	I	66,8	64,9	131,7
	1930	II	70,5	72,5	143,0
	1930	III	63,7	82,9	146,6
Калий	9590	I	62,8	40,8	103,6
	6880	II	79,5	45,9	125,4
	6880	III	73,5	45,3	118,8
Натрий	12800	I	0,7	94,4*	95,1
	9180	II	1,0	94,5*	95,5
	9180	III	0,7	87,9*	88,6
Кальций	2300	I	39,6	29,1	68,7
	1650	II	40,0	32,7	72,7
	1650	III	43,0	31,5	74,5
Железо	40	I	66,8	76,1	142,9
	30	II	98,6	102,7	201,3
	30	III	108,7	106,0	214,7
Цинк	30	I	66,8	43,1	109,9
	23	II	113,6	56,3	169,9
	23	III	102,0	52,9	154,9
Марганец	20	I	133,3	13,2	146,5
	14	II	138,3	46,8	185,1
	14	III	123,9	36,4	160,3
Медь	5	I	114,6	26,4	141,0
	3,7	II	142,4	41,9	184,3
	3,7	III	153,2	38,4	191,6
Молибден	1,3	I	57,7	40,0	97,7
	0,9	II	64,4	46,7	111,1
	0,9	III	44,4	44,4	88,8
Хром	0,6	I	70,0	253,3	323,3
	0,4	II	180,0	762,5	942,5
	0,4	III	269,8	840,0	1109,8

*С учетом натрия, введенного в виде поваренной соли.

ее в 1,5—2 раза. Исключение составлял хром, содержание которого в рационе экипажа превышало физиологическую норму на I этапе в 3 раза, а в последующих — в 9—11 раз. Известно, что в обычной смешанной пище колебания микроэлементов могут выходить за физиологические нормы их потребления в 2 и более раз, не вызывая заметных отклонений в состоянии здоровья людей (Руденко и др., 1963; Барченко и др., 1969; Габович, 1967; Коломийцева и др., 1970). Данные по обеспеченности экипажа алюминием, титаном, бором, ванадием, оловом, никелем нами не приводятся из-за отсутствия физиологических норм потребления этих элементов.

Сравнение минерального состава, наиболее часто используемого, обычного рациона с экспериментальным, показало, что никель, как и хром, испытатели потребляли в повышенном количестве. Причина высокого содержания в рационе хрома, никеля, алюминия, ванадия, титана — возрастающее в ходе эксперимента их поступление в растения из конструктивных материалов (см. рис. 17). Следует отметить, что 80% хрома от общего количества в рационе содержали лиофилизированные продукты, в основном крупа, которая была приготовлена из зерна пшеницы, выращенной в тех же фитотронах в предыдущем эксперименте. Трудно сказать, опасен ли избыток никеля и хрома в рационах при длительных экспериментах (более 4 мес), так как вопрос о допустимых верхних пределах поступления элементов в организм человека разработан недостаточно, хотя необходимость в этом есть.

При использовании всей съедобной продукции фитотрона обеспеченность исследуемыми витаминами и другими пищевыми веществами могла значительно возрасти, особенно на II и III этапах. В этом случае могла возникнуть перегрузка рациона органическими кислотами, каротинами, балластными веществами. Отметим, что обеспеченность экипажа (см. табл. 20) рассчитана с учетом содержания в овощах свободных и связанных органических кислот, последних почти в 4 раза больше. В справочных таблицах (Покровский, 1976) приводится обеспеченность за счет лишь свободных кислот. Учитывая это, обеспеченность экипажа в эксперименте была в пределах нормы. Однако следует иметь в виду некоторую условность существующего нормирования пищевых веществ, так как потребность человека в этих веществах до конца не исследована.

В заключение укажем на необходимость проведения работ по улучшению структуры посевов для более полного удовлетворения потребности человека в пищевых веществах в условиях СЖО.

Около 50% синтезируемого в СЖО органического вещества (листья, стебли, корни) не использовалось и являлось тупиковым продуктом (кроме сожженной на III этапе соломы).

Для использования в СЖО несъедобной биомассы высших растений возможны следующие пути:

1) получение пищевых веществ экстракцией (белки, аминокислоты, витамины, углеводы) или путем кислотного гидролиза (сахара, аминокислоты);

2) минерализация физико-химическим (каталитическая печь) или биологическим путем (микробный культиватор);

3) прямое использование человеком и животными (рыба, кролик, коза и т. д.).

Ниже рассмотрим только «биохимическую» возможность — выделение из несъедобной биомассы растений пищевых веществ.

В связи с дефицитом белка на Земле ведутся исследования по выделению из листьев растений белковых концентратов (БК) и их биологической оценке. Получение БК включает прессование растительного материала, осаждение белков при нагревании или понижении pH и удаление избытка воды. В качестве объектов использовались красный клевер, рожь, турнепс, пшеница, банан, сахарный тростник, сахарная свекла, картофель, горошек, бобы. Экстракт из зеленых, сочных растений содержал в 1,3—2 раза больше белка, чем из сухих, зрелых. В экстракт переходит 50—75% белка от его содержания в листе. Биологическая ценность определялась сравнением содержания незаменимых аминокислот БК с белками молока, сыра, мяса, птицы, рыбы, яйца. Только лизина и метионина в листе меньше, чем в животных продуктах (Gerloff e. a., 1965). По данным других авторов (Kinsella, 1970), БК могут быть сбалансированным источником диетического белка, если к ним добавляется метионин. Стахманн (1968), используя ферментный метод, основанный на скорости отщепления от белка незаменимых аминокислот протеазами, показал, что БК имеет индекс биологической ценности, сравнимый с молоком и яйцами. БК давал отличные результаты при кормлении свиней, цыплят и крыс (Kinsella, 1970). Изучаются также вопросы устойчивости

Таблица 22

Биохимический состав несъедобной (листостебельной) части растений, выращенных в СЖО

Культура	Водорастворимые сахара	Углеводы типа крахмала	Углеводы типа гемицеллюлозы	Углеводы типа клетчатки	Сырой протеин	Органические кислоты	Витамины (мг % на сырой вес) аскорбиновая кислота	каротин	тиамин	рибофлавин
	% на абсолютно сухое вещество									
Чуфа . . .	9,8	4,0	4,4	16,4	11,9	9,3	54,1	2,6	0,02	0,16
Морковь .	11,7	3,8	5,2	9,2	10,2	8,5	21,5	2,5	0,03	0,18
Редис . .	7,0	5,6	4,7	9,5	22,5	16,1	85,0	1,4	0,04	0,14
Картофель. .	3,5	2,9	3,8	13,1	24,4	11,9	10,5	1,9	0,03	0,09
Огурцы .	5,4	4,4	3,7	11,8	23,5	10,8	42,0	1,6	0,09	0,35

Таблица 23

Аминокислотный состав несъедобной* части высших растений, выращенных в эксперименте

Аминокислота	Пшеница		Редис		Чуфа		Картофель		Огурцы		Морковь		Шкала ФАО
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Лизин	0,13	3,77	0,70	5,04	0,15	3,28	0,65	6,23	0,86	6,99	0,32	3,66	5,5
Гистидин	0,05	1,45	0,23	1,65	0,06	1,31	0,19	1,82	0,29	2,36	0,24	2,76	
Аргинин	0,09	2,61	0,72	5,18	0,26	5,68	0,52	4,99	0,75	6,09	0,45	5,15	
Аспарагиновая	0,45	13,04	1,42	10,22	0,53	11,59	1,34	12,85	1,54	12,51	0,95	10,87	
Треонин	0,13	3,77	0,60	4,32	0,24	5,25	0,46	4,41	0,61	4,96	0,47	5,38	4,0
Серин	0,19	5,51	0,62	4,39	0,26	5,68	0,54	5,18	0,77	6,26	0,50	5,72	
Глютаминовая	1,00	28,99	3,02	21,73	0,59	12,91	1,59	15,24	1,37	11,13	1,01	11,56	
Пролин	0,26	7,54	0,76	5,47	0,26	5,68	0,62	5,94	0,75	6,09	0,48	5,49	
Глицин	0,15	4,35	0,90	6,47	0,28	6,12	0,65	6,23	0,75	6,09	0,53	6,06	
Аланин	0,24	6,96	1,22	8,78	0,35	7,65	0,80	7,67	0,92	7,47	0,70	8,01	
Цистин	0,08	2,32	0,15	1,08	0,08	1,75	0,17	1,68	0,20	1,62	0,15	1,72	3,5**
Валин	0,16	4,64	0,68	4,89	0,27	5,90	0,62	5,94	0,62	5,04	0,62	7,09	5,0
Метионин	0,06	1,74	0,18	1,29	0,11	2,40	0,22	2,11	0,20	1,62	0,19	2,17	
Изолейцин	0,09	2,61	0,68	4,89	0,18	3,93	0,48	4,60	0,50	4,06	0,42	4,81	4,0
Лейцин	0,18	5,22	1,20	8,63	0,41	8,97	0,88	8,44	1,09	8,85	0,81	9,27	7,0
Тирозин	0,07	2,03	0,13	0,94	0,13	2,84	0,16	1,53	0,43	3,49	0,38	4,35	6,0***
Фенилаланин	0,12	3,48	0,70	5,04	0,23	5,03	0,54	5,18	0,66	5,36	0,52	5,95	
Незаменимые аминокислоты		29,58		36,12		39,35		40,07		41,99		44,40	

Примечание. 1 — % от сухого веса; 2 — % от общей суммы аминокислот. * Листья и стебли. ** Сумма цистина и метионина. *** Сумма тирозина и фенилаланина.

к хранению белковых концентратов, их органолептические свойства, способность смешиваться с другими пищевыми продуктами и т. д.

Проведенные нами исследования (табл. 22, 23) показали, что белки неиспользуемой биомассы растений в сравнении со шкалой ФАО (1973) дефицитны по сумме серосодержащих аминокислот (редис, огурцы), лизину (кроме картофеля и огурцов), лейцину и изолейцину (солома пшеницы). По содержанию большинства исследуемых аминокислот и витаминов листостебельная часть растений превосходит съедобную.

В проведенном эксперименте ежесуточно синтезировалось 350 г сухой биомассы соломы, 217 г листьев чуфы и 197 г несъедобной биомассы овощей. В этой биомассе содержится около 100 г белков — количество, необходимое одному человеку. При коррекции по лизину и серосодержащим аминокислотам эти белки полноценны. Что касается их выделения, то овощные культуры превосходят зерновые и чуфу. При выделении белков в экстракт будут переходить свободные аминокислоты, витамины, углеводы, использование которых возможно лишь в случае отсутствия веществ токсической природы. Более выгодным было бы прямое использование листьев и стеблей, однако употребление значительного количества их в пищу затруднено ввиду высокого содержания клетчатки (см. табл. 22).

Для практического использования в пищу биомассы высших растений, считающейся несъедобной, или выделенных из нее отдельных компонентов, в частности белков, необходима разработка эффективных методов экстракции белков применительно к выращиваемым в СЖО растениям и определение биологической ценности белковых концентратов в опытах на животных и человеке.