

УДК 633.1:581.133.1:547.965

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АМИНОКИСЛОТ В РАСТЕНИЯХ ПО ИХ ЭЛЕМЕНТНОМУ СОСТАВУ

В. П. КРИЩЕНКО, А. И. КОРОВИН, Н. Н. НОВИКОВ

(Кафедра агрономической и биологической химии)

В метаболических процессах аминокислоты и микроэлементы тесно взаимосвязаны. Те и другие являются компонентами белков, что послужило предпосылкой для поиска расчетных способов определения содержания аминокислот по элементному составу растений.

Предложены формулы для расчета аминокислотного состава растительных материалов, исходя из 5 комбинаций элементов (азот, фосфор, сера, хлор, калий, кальций, марганец, железо, цинк) и дан контрольный пример расчета.

В метаболических процессах аминокислоты и микроэлементы, являясь компонентами белков, тесно взаимосвязаны. Генетически детерминированный компонентный состав белков предопределяет взаимосвязи между аминокислотами и минеральными элементами в звеньях метаболизма, что в равной мере относится и к макроэлементам. Выяснение природных связей между химическими элементами и аминокислотным составом биологических образцов — одна из важных задач аналитиче-

ской биохимии. Установление уравнений регрессии и корреляционных зависимостей между различными компонентами биологического материала необходимо для повышения производительности определения аминокислотного состава объектов.

Множественный корреляционный анализ позволяет рассчитать коэффициенты множественной корреляции между эффектом (концентрацией аминокислоты) и действием всего учитываемого комплекса концентраций химических элементов, частные коэффициенты множественной детерминации и корреляции между эффектом и действием каждого из факторов, коэффициенты парной корреляции между интенсивностью проявления действия факторов (концентрации химических элементов).

Коэффициент множественной корреляции (R) отражает другую сторону связи, нежели коэффициент множественной регрессии, а именно, характер и тесноту связи между эффектами и всем комплексом изучаемых факторов.

В работе [2] представлена методика расчетного способа определения аминокислотного состава растительных проб по их элементному составу. Было предложено 4 варианта расчета по следующим группам элементов: 1 — магний, фосфор, калий, кальций; 2 — марганец, железо, медь, цинк; 3 — магний, фосфор, калий, кальций, марганец, железо, медь, цинк; 4 — азот, фосфор, калий, кальций, марганец, железо, цинк.

Мы разработали способ расчета аминокислотного состава растительных материалов и по другим группам элементов: 1 — фосфор, сера, хлор, калий, кальций, марганец, железо, цинк; 2 — азот, фосфор, калий, кальций; 3 — азот, фосфор, калий; 4 — азот, фосфор, кальций; 5 — азот, калий, кальций.

Методы исследований

Определение концентраций химических элементов проводили с помощью рентгенофлуоресцентного анализатора (РФА) модели ТЕФА-6110 фирмы «Ортек» по методике [4], причем ошибки не превышали таковые при химических методах анализа [2]. В основу методики подготовки проб положено измельчение образцов с последующим их прессованием в таблетки. Это обусловлено тем, что для определения содержания легких элементов (от натрия до кальция) в растительных пробах необходим вакуум, который проще создать в случае таблетированного материала.

Отбор образцов растений и кормов и их лабораторная подготовка к анализу включают известные операции, которые подробно описаны в методических указаниях, разработанных для агрохимической службы [3]. Содержание аминокислот в пробах оп-

ределяли после кислотного гидролиза на автоматических анализаторах фирм «Биотроник» — ЛЦ-7000 и «Дуррум» — Д-500.

Для установления зависимости между содержанием аминокислот и концентрацией химических элементов использовали уравнение множественной регрессии:

$$x_1 = a + b_2 x_2 + b_3 x_3 + \dots + b_m x_m,$$

где x_1 — эффект, который учитывается в любой градуированной форме (в данном случае в процентах на воздушно-сухое вещество) x_2, x_3, \dots, x_m — действующие факторы в единицах измерения; b_2, b_3, \dots, b_m — частные коэффициенты множественной регрессии между концентрацией действующих факторов и эффектом; a — постоянный член уравнения («нулевое» значение эффекта).

Результаты исследований и их обсуждение

В число проб, использовавшихся для исследований в целях разработки расчетного способа определения содержания аминокислот, включены представители самых разных таксономических групп растений. Пределы содержания в них макро- и микроэлементов даны в табл. 1. Приведенные ниже формулы расчета содержания аминокислот справедливы для тех случаев, когда концентрация в растительных образцах макро- и микроэлементов не выходит за пределы значений, указанных в табл. 1. Вместе с тем очевидно, что установленные пределы охватывают подавляющее большинство растений.

Комплекс химических элементов наиболее полно отражает взаимосвязь между их концентрацией и содержанием аминокислот (если, однако, не встречаются коэффициенты с отрицательными знаками, дейст-

**Экстремальные значения концентраций химических элементов
в стандартных образцах**

Элемент	Экстремальные значения концентраций		Элемент	Экстремальные значения концентраций	
	минимальные	максимальные		минимальные	максимальные
Азот	0,86	6,29	Кальций	0,05	5,07
Фосфор	0,15	1,20	Марганец	6,7	153,6
Сера	0,02	1,60	Железо	56,0	425,7
Хлор	0,06	1,67	Цинк	23,0	98,5
Калий	0,39	4,30			

Пр и м е ч а н и е. Концентрация азота, фосфора, серы, хлора, калия и кальция дана в %, марганца, железа и цинка — в мкг на 1 г.

вующие как антагонисты). Поэтому были проведены расчеты взаимосвязи комплексов 3—8 биологически важных химических элементов с аминокислотами (табл. 2). Расчет проводили по составленному нами алгоритму. По коэффициентам множественной регрессии (конкретные уравнения расчета приведены в табл. 2—6) были вычислены концентрации аминокислот путем подстановки в указанные уравнения значений концентраций химических элементов.

Сопоставление расчетных и аналитических значений концентраций аминокислот показывает, что, например, полином 8-го порядка хорошо описывает концентрации всех аминокислот по всем растительным этапам при коэффициенте множественной корреляции

$$R = \sqrt{\frac{b_2(\sum x_1x_2) + b_3(\sum x_1x_3) + \dots + b_m(\sum x_1x_m)}{\sum x_1^2}}$$

и детерминации $D = R^2$, частном коэффициенте множественной корреляции

$$r_{1, 2, 3, 4, \dots, m} = \sqrt{1 - \frac{1 - R_{1, 2, 3, 4, \dots, m}^2}{1 - R_{1, 3, 4, \dots, m}^2}},$$

где $R_{1, 2, 3, 4, \dots, m}^2$ — коэффициент множественной детерминации между

Т а б л и ц а 2

**Множественный регрессионный анализ содержания аминокислот
по 8 химическим элементам, определяемым с помощью рентгенофлуоресцентных анализаторов,
типа АРК-2, СРМ-20 и др.**

Аминокислота	Частные коэффициенты множественной регрессии: $x_i = a + b_2 \cdot C_P + b_3 \cdot C_S + b_4 \cdot C_{Cl} + b_5 \cdot C_K + b_6 \cdot C_{Ca} + b_7 \cdot C_{Mn} + b_8 \cdot C_{Fe} + b_9 \cdot C_{Zn}$									Статистические показатели	
	a	b ₂ (P)	b ₃ (S)	b ₄ (Cl)	b ₅ (K)	b ₆ (Ca)	b ₇ (Mn)	b ₈ (Fe)	b ₉ (Zn)	\bar{S}	D
Глу	1,1834	9,1029	5,4802	-3,9868	-0,3252	-1,2601	378,35	-58,446	-635,10	0,96	0,90
Асп	-0,5791	-0,3597	0,4785	-0,2361	0,5726	-0,0693	-39,030	14,904	330,73	0,33	0,95
Про	0,9056	2,5550	0,8289	-0,2405	-0,3885	0,2526	41,565	-9,525	-246,59	0,35	0,89
Ала	0,0467	0,0171	-0,1335	0,7677	-0,0109	0,1087	-46,319	7,043	126,06	0,17	0,89
Гли	-0,2508	0,1985	0,2450	-0,2354	0,1313	-0,0561	14,167	2,027	112,34	0,14	0,93
Лей	0,3835	0,9005	-0,3808	0,6707	-0,0823	0,1537	-57,204	9,963	41,046	0,53	0,71
Сер	0,0465	1,2437	0,2022	-0,2018	0,0609	-0,0204	26,582	-5,104	-23,053	0,12	0,95
Вал	-0,0518	0,1247	0,3280	-0,0267	0,0638	-0,0120	4,720	0,9351	92,543	0,11	0,95
Тре	-0,2888	-1,1035	0,3271	-0,0345	0,1193	-0,0499	-10,079	6,775	242,06	0,13	0,94
Арг	-0,3940	0,0688	0,2704	-0,3440	0,1718	-0,0421	-3,095	4,965	203,99	0,14	0,97
Лиз	-0,0326	0,4837	-0,2730	0,0437	0,1547	0,1233	1,5548	-6,161	31,458	0,10	0,93
Фен	0,0689	1,4666	-0,0571	-0,1759	0,1268	0,0456	6,4390	-2,890	-70,165	0,14	0,93
Илей	-0,0627	0,5261	0,0648	-0,2316	0,1167	-0,0132	9,4970	0,0295	23,223	0,09	0,95
Гис	0,0178	-0,7812	0,0112	0,4933	-0,1570	0,0942	-19,882	3,905	189,39	0,08	0,91
Тир	0,1362	0,9851	-0,3716	0,0373	0,0719	0,1067	-8,572	-3,219	-50,278	0,09	0,91
Цис	0,00404	—	-0,02954	-0,01247	0,01230	—	—	—	12,690	0,01	0,99
Мет	-0,01236	0,1095	-0,0156	-0,0480	0,0349	-0,0066	-0,6752	0,3584	-6,6591	0,04	0,71

Множественный регрессионный анализ содержания аминокислот по концентрации азота, фосфора, калия и кальция (полуприближенный расчет)

Аминокислота	Частные коэффициенты множественной регрессии: $x_1 = a + b_2 \cdot C_N + b_3 \cdot C_P + b_4 \cdot C_K + b_5 \cdot C_{Ca}$					Статистические показатели	
	a	$b_2 (N)$	$b_3 (P)$	$b_4 (K)$	$b_5 (Ca)$	\bar{S}	D
Глу	0,7388	-0,0766	6,1413	-0,5289	0,3400	0,89	0,77
Асп	-0,0578	-0,0440	2,9144	0,0927	0,2815	0,39	0,81
Про	0,3159	0,3465	-0,4052	-0,2088	0,1878	0,37	0,67
Ала	0,1390	0,0222	0,7901	0,0491	0,0306	0,19	0,66
Гли	0,0031	-0,0341	1,2327	0,0365	0,0467	0,15	0,78
Лей	0,7233	-0,2046	1,6266	0,0795	-0,0155	0,50	0,24
Сер	0,1345	0,0121	0,9853	-0,0131	0,0427	0,13	0,83
Вал	0,0351	0,0837	0,5895	0,0279	0,0260	0,09	0,91
Тре	-0,0388	0,0687	0,5909	0,0408	0,0143	0,11	0,86
Арг	-0,1460	0,0566	1,4974	0,0099	0,0352	0,13	0,93
Лиз	0,0752	0,0792	0,1361	0,0439	0,0175	0,10	0,82
Фен	0,0368	0,1645	0,1937	-0,0107	0,0016	0,10	0,92
Илей	0,0276	0,0799	0,3702	0,0108	0,0026	0,07	0,92
Гис	0,1357	0,0013	0,5281	-0,0047	0,0109	0,08	0,75
Тир	0,0977	0,1350	-0,2020	-0,0152	-0,0226	0,05	0,91
Цис	-0,0357	0,0174	0,0386	0,0056	-0,0038	0,03	0,71
Мет	-0,0008	0,0277	-0,0566	-0,0039	-0,0019	0,03	0,47

эффектом (обозначенным цифрой 1) и комплексом всех изученных факторов (2,3,4,..., m); $R_{1, 2, 3, 4, m}^2$ — коэффициент множественной детерминации между эффектом и комплексом изучаемых факторов при исключении влияния 2-го фактора; стандартная ошибка оценки концентрации аминокислоты по изучаемому кругу химических элементов

$$\bar{S} = \sqrt{\{(\sum x_1^2 - [b_2 (\sum x_1 \cdot x_2) + b_3 (\sum x_1 \cdot x_3) + \dots + b_m (\sum x_1 \cdot x_m)])\} / n - m}$$

Метрологические характеристики средних абсолютных (A) и относительных отклонений (S) аналитических значений от расчетных для 8-факторных комплексов (P, S, Cl, K, Ca, Mn, Fe, Zn) лучше, чем при использовании меньшего числа элементов.

Для повышения точности расчета необходимо учитывать биохимические закономерности взаимосвязи конкретных химических элементов

Таблица 4

Множественный регрессионный анализ содержания аминокислот по концентрации азота, фосфора и калия (приближенный расчет)

Аминокислота	Частотные коэффициенты множественной регрессии: $x_1 = a + b_2 \cdot C_N + b_3 \cdot C_P + b_4 \cdot C_K$				Статистические показатели	
	a	$b_2 (N)$	$b_3 (P)$	$b_4 (K)$	\bar{S}	D
Глу	0,05572	0,2062	1,8154	-0,1612	1,60	0,45
Асп	-0,0094	0,1967	0,2507	0,2146	0,82	0,54
Про	0,1792	0,3264	-1,0462	-0,0024	0,59	0,50
Ала	0,0312	0,0547	0,1415	0,1211	0,34	0,53
Гли	-0,0161	0,0306	0,3654	0,0815	0,30	0,54
Лей	0,3799	-0,1134	0,7509	0,1609	0,66	0,23
Сер	0,0548	0,0516	0,2451	0,0617	0,32	0,50
Вал	-0,0396	0,0897	0,0467	0,1057	0,29	0,63
Тре	-0,0812	0,0735	0,1051	0,1000	0,25	0,65
Арг	-0,1418	0,0913	0,4738	0,0911	0,39	0,63
Лиз	-0,0105	0,0745	-0,1319	0,1035	0,21	0,65
Фен	-0,0610	0,1220	-0,0875	0,0879	0,28	0,65
Илей	-0,0391	0,0675	0,0530	0,0738	0,21	0,63
Гис	0,0580	0,0176	0,1684	0,0422	0,19	0,45
Тир	-0,0115	0,0787	-0,1496	0,0572	0,17	0,65
Цис	-0,0319	0,0116	0,0135	0,0110	0,03	0,69
Мет	-0,0121	0,0176	-0,0427	0,0071	0,03	0,59

Множественный регрессионный анализ содержания аминокислот по концентрации азота, фосфора и кальция (приближенный расчет)

Аминокислота	Частные коэффициенты множественной регрессии: $x_1 = a + b_2 \cdot C_P + b_3 \cdot C_P + b_4 \cdot C_{Ca}$				Статистические показатели	
	a	$b_2 (N)$	$b_3 (P)$	$b_4 (Ca)$	\bar{S}	D
Глу	0,1434	-0,6046	8,6457	0,4136	0,95	0,72
Асп	0,0462	0,0485	2,4760	0,2686	0,38	0,81
Про	0,0809	0,1381	0,5834	0,2168	0,39	0,61
Ала	0,1943	0,0713	0,5574	0,0238	0,19	0,64
Гли	0,0442	0,0023	1,0601	0,0417	0,15	0,78
Лей	0,8128	-0,1253	1,2504	-0,0266	0,58	0,23
Сер	0,1198	-0,0010	1,0475	0,0445	0,12	0,83
Вал	0,0666	0,1116	0,4573	0,0221	0,09	0,91
Тре	0,0072	0,1094	0,3976	0,0086	0,12	0,85
Арг	-0,1348	0,0665	1,4503	0,0338	0,13	0,93
Лиз	0,1247	0,1230	-0,0719	0,0114	0,10	0,79
Фен	0,0248	0,1539	0,2442	0,0031	0,09	0,92
Илей	0,0398	0,0907	0,3191	0,0011	0,07	0,92
Гис	0,1304	-0,0034	0,5605	0,0115	0,08	0,75
Тир	0,0807	0,1199	-0,1303	-0,0206	0,05	0,91
Цис	-0,0294	0,0230	0,0122	-0,0046	0,03	0,70
Мет	-0,0052	0,0238	-0,0380	-0,0014	0,03	0,47

с конкретными аминокислотами и взаимопревращения последних. Это подтверждается наличием вариаций стандартных ошибок оценки эффекта (S) и частных коэффициентов множественной корреляции по изучаемым комплексам (табл. 3—6). По результатам многофакторного регрессионного анализа можно также судить о синергетических и антагонистических вкладах химических элементов в предопределение концентраций аминокислот, ведущих и второстепенных в этом отношении химических элементах. По абсолютным значениям частных коэффициентов множественной регрессии можно судить о влиянии на содержание аминокислот концентрации тех или иных химических элементов.

В системе агрохимической службы в кормах и растениях в основном определяется содержание азота, фосфора, калия, кальция, марганца, железа и цинка, что позволяет с приемлемой точностью рассчитать

Таблица 6

Множественный регрессионный анализ содержания аминокислот по концентрации азота, калия и кальция (приближенный расчет)

Аминокислота	Частные коэффициенты множественной регрессии: $x_1 = a + b_2 \cdot C_N + b_3 \cdot C_K + b_4 \cdot C_{Ca}$				Статистические показатели	
	a	$b_2 (N)$	$b_3 (K)$	$b_4 (Ca)$	\bar{S}	D
Глу	1,5540	0,9456	-1,0739	0,0814	1,08	0,64
Асп	0,3288	0,4412	-0,1669	0,1588	0,48	0,69
Про	0,2621	0,2790	-0,1728	0,2049	0,36	0,67
Ала	0,2439	0,1537	-0,0210	-0,0026	0,20	0,59
Гли	0,1667	0,1711	-0,0729	-0,0052	0,20	0,62
Лей	0,9393	0,0662	-0,0649	-0,0840	0,61	0,23
Сер	0,2653	0,1761	-0,1006	0,0012	0,16	0,71
Вал	0,1134	0,1818	-0,0244	0,0012	0,11	0,87
Тре	0,0396	0,1670	-0,0116	-0,0106	0,13	0,82
Арг	0,0528	0,3058	-0,1229	-0,0279	0,20	0,83
Лиз	0,0933	0,1018	0,0319	0,0118	0,09	0,81
Фен	0,0625	0,1968	-0,0279	-0,0066	0,10	0,91
Илей	0,0767	0,1416	-0,0221	-0,0130	0,08	0,89
Гис	0,2072	0,0909	-0,0525	-0,0118	0,10	0,63
Тир	0,0709	0,1014	0,0028	-0,0142	0,60	0,90
Цис	-0,0305	0,0238	0,0022	-0,0054	0,03	0,70
Мет	-0,0083	0,0183	0,0011	0,0004	0,03	0,46

аминокислотный состав кормов и растений. В этом случае используются данные о содержании азота — показателя, отличающегося высокими коэффициентами корреляции с концентрацией отдельных аминокислот. Поэтому повсеместно имеющаяся информация о содержании в кормах и растениях только азота, фосфора, калия или кальция дает возможность предложить упрощенный, но высокоэффективный способ расчета содержания аминокислот на основании полученных нами коэффициентов. Погрешности расчетов несколько увеличиваются, так как точность математико-аналитического метода, как уже отмечалось, возрастает при увеличении числа факторных признаков, уменьшении погрешности определения концентрации химических элементов.

Пример расчета. Содержание аминокислот определяли предлагаемым способом в образце зерна пшеницы, который не участвовал в расчете частных коэффициентов уравнения множественной регрессии. Его подготавливали к анализу и анализировали аналогично тому, как и все остальные пробы. Для нахождения содержания аминокислот полученные концентрации химических элементов умножали на частные коэффициенты уравнения множественной регрессии (табл. 2). Так, для глутаминовой кислоты:

$$C_{\text{Глу}} (\%) = 1,1834 + 9,1029C_P + 5,4802C_S - 3,9868C_{Cl} - 0,3252C_K - \\ - 1,2601C_{Ca} + 378,35C_{Mn} - 58,446C_{Fe} - 635,10C_{Zn},$$

Подобные расчеты проводятся и для всех других аминокислот, при этом в уравнение регрессии подставляются частные коэффициенты конкретно для выбранной аминокислоты. При переходе к следующему растительному объекту частные коэффициенты не изменяются, если не изменяется набор химических элементов.

Метрологическая характеристика математико-аналитического определения содержания аминокислот. Основными оценочными характеристиками любого инструментального метода являются следующие показатели: воспроизводимость, правильность (мера соответствия результата анализа истинному содержанию), чувствительность (предел обнаружения), производительность. Значения некоторых из них даны в табл. 7.

Таблица 7

Метрологические характеристики математико-аналитического метода (ММ) определения содержания аминокислот в кормах и растениях с помощью рентгенофлуоресцентного метода

Аминокислота	$S_{PFA, j}^2$	$S_{MAM, j}^2$	$\pm \frac{t \cdot S_{MAM}}{\sqrt{n}}$	$\left \frac{\bar{y}_{отн}}{D} \right $	D	Δ	δ	D
Глу	0,0010	0,9220	0,42	0,007	0,74	0,31	23,0	0,96
Асп	0,0010	0,1090	0,14	0,006	0,43	0,17	19,0	0,94
Про	0,0010	0,1230	0,15	0,002	0,30	0,12	29,9	0,93
Ала	0,0010	0,0300	0,07	0,002	0,35	0,15	36,6	0,71
Гли	0,0010	0,0200	0,06	0,001	0,22	0,09	28,6	0,90
Лей	0,0010	0,2820	0,23	0,380	0,73	0,25	40,9	0,37
Сер	0,0010	0,0150	0,05	0,001	0,22	0,09	24,2	0,87
Вал	0,0010	0,0130	0,05	0,009	0,17	0,07	17,9	0,91
Тре	0,0010	0,0200	0,06	0,002	0,25	0,12	24,2	0,92
Арг	0,0010	0,0200	0,06	0,003	0,20	0,09	22,1	0,96
Лиз	0,0010	0,0110	0,05	0,006	0,17	0,07	22,8	0,80
Фен	0,0010	0,0200	0,06	0,004	0,23	0,10	39,4	0,83
Илей	0,0010	0,0090	0,04	0,002	0,16	0,07	24,5	0,88
Гис	0,0010	0,0070	0,04	0,001	0,11	0,05	16,2	0,89
Тир	0,0010	0,0090	0,04	0,001	0,14	0,06	25,5	0,75
Цис	0,0006	0,0007	0,01	0,166	0,05	0,02	96,6	0,79
Мет	0,0012	0,0028	0,02	0,005	0,02	0,007	26,9	0,90

Из табл. 7 следует, что результаты определения содержания аминокислот, полученные математико-аналитическим методом, значимо не расходятся с аналитическими результатами. В погрешность определения содержания аминокислот значительный вклад вносит величина S , в то время как воспроизводимость самого рентгенофлуоресцентного метода анализа $S_{\text{рфа}}$ практически не влияет на конечный итог. В табл. 7 приведены допустимые расхождения между результатами, полученными математико-аналитическим методом, и данными, полученными на автоматическом анализаторе аминокислот, средние абсолютные и средние относительные ошибки математико-аналитического метода определения 17 аминокислот в 20 растительных объектах различного происхождения, а также коэффициент детерминации ($D = R^2$) и абсолютная погрешность оценки содержания аминокислот ($\pm ts \sqrt{n}$) для уровня значимости $P = 0,05$. Естественно, что S зависит от концентрации химических элементов и содержания аминокислот в анализируемых объектах, поэтому в табл. 7 погрешности определения даны для уровня содержаний их в зерне пшеницы.

Значимость полученных расхождений между двумя методами анализа оценивалась также по критерию Стьюдента (t) для уровня значимости = 0,05. Приведем оценку правильности определения на примере лизина. Сумма разностей концентраций лизина, полученная путем определения двумя методами, составляет

$$\sum_{i=1}^{i=20} \alpha_i = 0,03,$$

тогда

$$S_{\alpha} = \frac{1}{n-1} \left[\left(\sum_{i=1}^n \alpha_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \alpha_i \right)^2 \right)^{1/2} \right] = 0,0591,$$

где число степеней свободы $f_n = n - 1 = 19$. Отсюда

$$t_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{n}}{S_{\alpha}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i}{n} = 0,1134,$$

$$t_{\text{теор}} = t(0,95; 19) = 2,1.$$

Из полученных данных следует, что значение $t_{\text{расч}}$, характеризующее относительную разницу результатов анализа сравниваемых концентраций лизина, намного меньше, чем значение двустороннего t -критерия для уровня значимости $P = 0,05$. Следовательно, можно сделать вывод о случайном расхождении результатов. К такому же выводу можно прийти в случае других аминокислот.

Сопоставление результатов, полученных расчетным и экспериментальными способами, показывает, что математико-аналитический подход обеспечивает достаточно высокую точность определения содержания аминокислот по элементному составу растений.

Чувствительность (предел обнаружения) математико-аналитического метода зависит прежде всего от значений минимально определяемых концентраций (МОК) химических элементов. Для рентгенофлуоресцентного метода [5]

$$\text{МОК} = \frac{2,33 \times \sqrt{I_{\text{фон}}}}{(I_{\text{пик}}/C)},$$

где $I_{\text{фон}}$ и $I_{\text{пик}}$ — интегральная скорость счета импульсов соответственно по фону и по пику; C — концентрация химического элемента в % или мкг/г. Однако чувствительность математико-аналитического метода при высокой чувствительности аналитической части в настоящее время ограничена в математической части, точнее экстремальными значениями концентраций химических элементов в стандартных образцах (табл. 1), взятых для установления частных коэффициентов уравнения множест-

венной регрессии. Указанный недостаток в дальнейшей работе можно устранить, расширив интервалы варьирования концентраций химических элементов, используя более разнообразные стандартные образцы.

Производительность математико-аналитического метода регламентируется производительностью метода определения концентрации химических элементов. При использовании рентгенофлуоресцентных анализаторов, с помощью которых можно анализировать материалы растительного происхождения в количестве 100 проб за рабочую смену, производительность аминокислотного анализа также будет равна этой величине. Время расчета аминокислотного состава практически не влияет на общую производительность рентгенофлуоресцентного анализа.

Заключение

Дана методика расчета содержания аминокислот по отдельным группам химических элементов, предназначенная для использования в производстве. Предлагаемый способ определения аминокислотного состава кормов и растений лишен погрешностей, которые имеют место при традиционной подготовке гидролизата к анализу, позволяет в десятки раз снизить время, затрачиваемое на анализ, экономичен, так как не требует для своего осуществления реактивов, анализаторов аминокислот, не разрушает пробу, а также дает возможность избежать межлабораторную погрешность анализа. Погрешности определения аминокислот математико-аналитическим методом входят в погрешности традиционных методов анализа, а по большинству аминокислот — даже в погрешности аттестационных анализов. Высокие метрологические характеристики математико-аналитического метода подтверждают неоспоримые преимущества его перед традиционными химическими методами анализа аминокислотного состава кормов и растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коровин А. И., Воронков В. И., Логинов Ю. М., Горшкова Г. И. Применение математической статистики для контроля точности РФА растений и кормов. — Тез. докл. Всесоюз. конф.: Приборное оснащение и автоматизация научных исследований в биохимии. Кишинев, 1981, ч. II, с. 35—36. — 2. Коровин А. И., Крищенко В. П., Самохвалов С. Г. Математико-аналитический метод определения аминокислотного состава объектов растительного происхождения по их элементному составу. — Химия в сельск. хоз-ве, 1986, № 10, с. 37—41. — 3. Крищенко В. П. Методы оценки качества растительной продукции. — М.: Колос, 1983. — 4. Логинов Ю. М., Коровин А. И., Воронков В. И. и др. Методические указания по энергодисперсионному рентгенофлуоресцентному анализу растительных материалов. — М.: Колос, 1982. — 5. Cooper I. A., Wheeler B.-D., Bagtell D. M. — Papers of foreign participants to VIII Intern. Fertilizer. Congr., 1976, vol. 2, p. 91—105.

Статья поступила 29 января 1986 г.

SUMMARY

Amino acids and microelements are closely interrelated in metabolic processes. Both are protein components, which resulted in efforts to determine by calculation the amino acid content by the elemental composition of plants.

Some formulae for calculating the amino acid composition of plant materials proceeding from 5 elemental combinations (nitrogen, phosphorus, sulphur, chlorine, potassium, calcium, manganese, zinc) are suggested, and an example of calculation is presented.