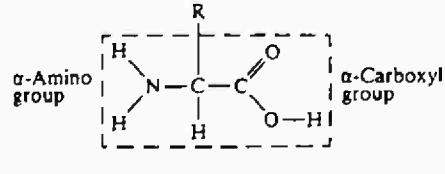
أولاً: الأحماض الأمينية

تعتبر الأحماض الأمينية ضمن المكونات الأساسية لجميع الأغذية ومع ذلك فانه يوجد اختلافا كبيرا فى محتواها من الأحماض الأمينية. وهى توجد كمكون أساسى فى تكوين البروتينات، وعند هضم البروتين فانه يعطى أحماض أمينية حرة وببتيدات قصيرة السلسلة تمتص بواسطة الجسم. وتستخدم الأحماض الأمينية فى الغذاء لإنتاج البروتينات اللازمة لاعطاء التركيب البنائى والوظائف الفسيولوجية للأنسجة المختلفة وكذلك الهرمونات وأعضاء الجهاز العصبى. ومن المعروف أن احتياجات الحيوانات للأحماض الأمينية تختلف عن بعضها البعض تبعاً للنوع. وكذلك تختلف إحتياجات الكائنات الحية من الأحماض الأمينية طبقاً للعمر. لذلك لابد من وجود كميات مناسبة من كل حمض أمينى فى الغذاء. والجدول فى صفحة ٢ يبين إحتياجات الإنسان من الأحماض الأمينية الأساسية طبقاً لمراحل النمو.

وتعتبر الأحماض الأمينية مركبات عضوية ذات أوزان جزيئية منخفضة تتراوح ما بين ١٠٠- ٢٠٠ وتحتوى على الأقل على مجموعة كربوكسيل واحدة (-COOH) ومجموعة أمين واحدة ($-NH_2$). وترجع الاختلافات بين الأحماض الأمينية المختلفة إلى طبيعة مجموعات السلاسل الجانبية (-R) والتى لها أهمية أساسية وتميز كل حمض أمينى عن الآخر.



الرمز العام للحمض الأمينى

احتياجات الإنسان من الأحماض الأمينية الأساسية

الحمض الأمينى (مجم/ كجم)	العمر ٣ - ٦ أشهر	١٠ - ١٢ سنة	البالغ
أيزوليوسين	٧٠	٣٠	١٠
ليوسين	١٦١	٤٥	١٤
ليسين	١٠٣	٦٠	١٢
ميثيونين + سستين	٥٨	٢٧	١٣
فينايل آلانين + تيروزين	١٢٥	٢٧	١٤
ثريونين	٧٨	٣٥	٧
تريتوفان	١٧	٤	٤
فالين	٩٣	٣٣	١٠
كمية الأحماض الأمينية الأساسية الكلية	٧١٤	٢٦١	٨٤
كمية الأحماض الأمينية الأساسية الكلية: كمية البروتين المطلوبة	٠,٣٩	٠,٣٣	٠,١٥

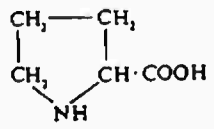
من المعروف أن الهستدين هو حمض أمينى أساسى بالنسبة للأطفال ويحتاج البالغ الى مستويات منخفضة منه. هذه الأرقام مأخوذة من FAO/ WHO (1973).

ومن معرفة التركيب الكيميائى للمجموعة R فانه يمكن استنتاج خواص الأحماض الأمينية وبالتبعية عند معرفة خواص الحمض الأمينى فانه يمكن التعرف على ماهية المجموعة R ثم الحمض الأمينى. والجدير بالذكر أنه يوجد تقريبا ١٨ حمض أمينى مختلف فى البروتينات الطبيعية.

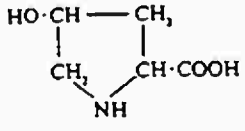
وفى الطبيعة توجد الأحماض الأمينية فى الصورة اليسارية (L-form) وتوجد أيضا فى الطبيعة بعض الأحماض الأمينية فى الصورة اليمينية (D-Form) ولكنها متخصصة جداً فهى عادة ما توجد مرتبطة مع مركبات أخرى غالبا ما تكون سامة.

١-١ التركيب والخصائص العامة للأحماض الأمينية:

يوجد تقريبا ٢٠ حمض أمينى فى البروتينات وكلها ألفا أمينو ماعدا حمضين ألفا ايمينو وهما البرولين والهيدروكسى برولين. ويطلق على الأحماض الأمينية ألفا نظرا لإرتباط مجموعة الأمين على ذرة الكربون ألفا للسلسلة وهى ذرة الكربون المجاورة لمجموعة الكربوكسيل. والجدير بالذكر أن كلا المجموعتين الكربوكسيل والأمين تكونا متصلتين بذرة كربون واحدة.



Proline



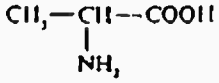
Hydroxyproline

α-Imino acids.

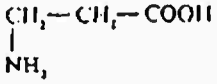
كما يوجد عديد من المركبات لها تركيب كيميائى يشابه تركيب الأحماض الأمينية منتشرة فى الطبيعة ولا توجد فى البروتين ولها أهمية خاصة فى التمثيل الغذائى أو كمكونات للنباتات أو كمضادات حيوية Antibiotics .

والرموز التالية تبين التركيب الكيميائى لبعض منها:

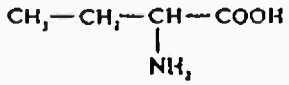
α – Alanine



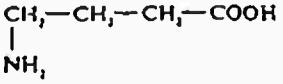
β – Alanine



α – Aminobutyric acid



γ – Aminobutyric acid

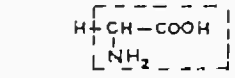
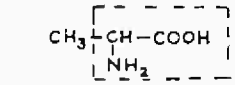
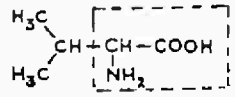
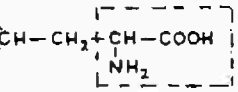
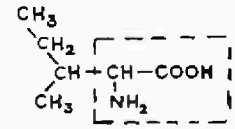
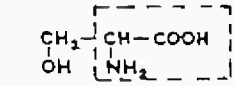
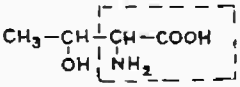
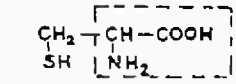
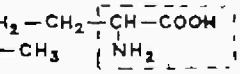
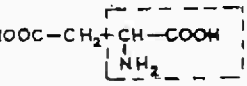
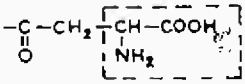


Structure of alternative forms of amino acids

والجدول التالى يبين بعض خواص المركبات القريبة فى تركيبها الكيميائى للأحماض الأمينية التى توجد فى نوعية خاصة جدا من البروتينات أو فى الصورة الحرة.

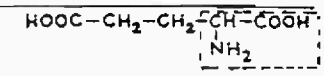
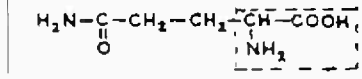
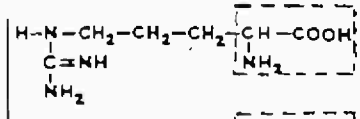
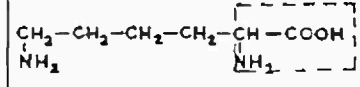
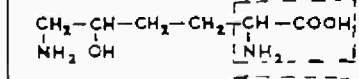
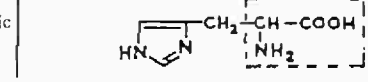
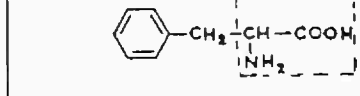
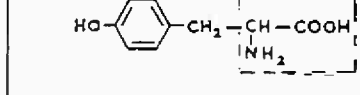
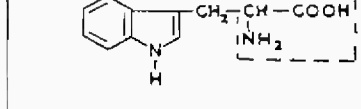
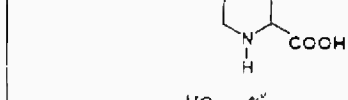
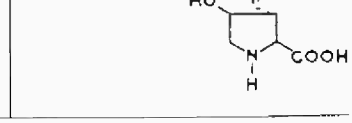
الحمض الأميني	أهمية التمثيل الغذائى أو مصدر النسيج	الرمـــز
ألفا أمينو حمض البيوتريك	أنسـجـة النبـات والحيوان	CH_2- CH_2- $CHNH_2$- COOH
ألفا جاما ثنائى أمين حمض البيوتريك	مضادات حيوية	CH_2- NH_2- $CHNH_2$- COOH
بيتا الأنين	معاون إنزيمى أ COA	CH_2- NH_2- CH_2- COOH
جاما امينو حمض البيوتريك	أنسجة المخ	CH_2- NH_2- CH_2- CH_2- COOH
الفا ابيسلون ثنائى امينو حمض بيميليك Pimelic	جدر الخلايا البكتيرية	$HOOC-CHNH_2-(CH_2)_3$ $H_2N-CH-COOH$

التركيب الكيميائى للأحماض الأمينية ألفا اليسارية الموجودة فى البروتينات

المجموعة	الاسم الشائع	الاسم الكيماوي	التركيب الكيميائي
أحماض أمينية لها سلاسل أليفاتية			
الأولى	Glycine*	Aminoacetic acid	
	Alanine	α-Aminopropionic acid	
	Valine	α-Aminoisovaleric acid	
	Leucine	α-Aminoisocaproic acid	
	Isoleucine	α-Amino-β-methylvaleric acid	
أحماض أمينية لها سلاسل جانبية بها مجاميع أيدروكسيلية			
الثانية	Serine	α-Amino-β-hydroxypropionic acid	
	Threonine	α-Amino-β-hydroxy-n-butyric acid	
أحماض أمينية لها سلاسل جانبية بها ذرات كبريت			
الثالثة	Cysteine†	α-Amino-β-mercaptopropionic acid	
	Methionine	α-Amino-γ-methylthio-n-butyric acid	
أحماض أمينية بها سلاسل جانبية حامضية أو أميدية			
الرابعة	Aspartic acid	α-Aminosuccinic acid	
	Asparagine	γ-Amide of α-aminosuccinic acid	

*تدل العلامة على أن الجليسين لا يوجد فى الصورة اليمينية أو اليسارية نظرا لعدم أحتوائه على ذرة كربون غير متناسقة

التركيب الكيميائى للأحماض الأمينية ألفا اليسارية الموجودة فى البروتينات

المجموعة	الإسم الشائع	الإسم الكيماوى	التركيب الكيميائى
الرابعة	Glutamic acid	α-Aminoglutaric acid	
	Glutamine	δ-Amide of α-aminoglutaric acid	
أحماض أمينية بها سلاسل جانبية قاعدية			
الخامسة	Arginine	α-Amino-δ-guanidino-n-valeric acid	
	Lysine	α,ε-Diaminocaproic acid	
	Hydroxylysine*	α,ε-Diamino-δ-hydroxy-n-caproic acid	
	Histidine	α-Amino-β-imidazolepropionic acid	
أحماض أمينية بها حلقات عطرية			
السادسة	Phenylalanine	α-Amino-β-phenylpropionic acid	
	Tyrosine	α-Amino-β-(*p*-hydroxyphenyl) propionic acid	
	Tryptophan	α-Amino-β-3-indolepropionic acid	
أحماض أمينية ايمينية			
السابعة	Proline	Pyrrolidine-2-carboxylic acid	
	4-Hydroxyproline	4-Hydroxypyrrolidine-2-carboxylic acid	

تدل العلامة على أن الهيدروكسى ليسين يوجد فقط فى الكولاجين والجيلاتين.

الخواص العامة للأحماض الأمينية الشائعة

الحمض الأميني	الرمز الجزئي	الوزن الجزئي	درجة حرارة التكسير (°م)	الذوبان في الماء (جم %)	نقطة التعادل: قيم ثوابت الانقسام	نقطة التعادل: الكهربي	$[\alpha]_D$ التحويل الضوئي
L-Alanine	$C_3H_7O_2N$	89.09	297	166.5 (25°C)	2.34, 9.69	6.01	+2.8 (w, c = 6, 25°C)
L-Arginine	$C_6H_{14}O_2N_4$	174.20	244	148.7 (20°C)	2.01, 9.04, 12.48	10.76	+12.5 (w, c = 3.5, 20°C)
L-Asparagine	$C_4H_8O_3N_2$	132.12	234–235	35.3 (28°C)	2.02, 8.80	5.41	–5.42 (w, c = 1.3, 20°C)
L-Aspartic acid	$C_4H_7O_4N$	133.10	270–271	4.5 (20°C)	2.10, 3.86, 9.82	2.98	+4.36 (w, c = 1, 20°C)
L-Cysteine	$C_3H_7O_2NS$	121.16	240	160 (20°C)	1.71, 8.27, 10.78	5.02	+9.8 (w, c = 1.3, 30°C)
L-Cystine	$C_6H_{12}O_4N_2S_2$	240.30	260–261	0.112 (25°C)	1.04, 2.05, 8.0, 10.25	5.02	–223 (1 N HCl, c = 1, 20°C)
L-Glutamic acid	$C_5H_9O_4N$	147.13	247–249	8.64 (25°C)	2.10, 4.07, 9.47	3.08	+31.4 (6 N HCl, c = 1, 22°C)
L-Glutamine	$C_5H_{10}O_3N_2$	146.15	185–186	26.0 (18°C)	2.17, 9.13	5.65	+6.5 (w, c = 2, 25°C)
Glycine	$C_2H_5O_2N$	75.07	233–290	250 (25°C)	2.35, 9.78	6.06	Not Active
L-Histidine	$C_6H_9O_2N_3$	155.16	287	41.9 (25°C)	1.77, 6.10, 9.18	7.64	–39.7 (w, c = 1.13, 20°C)
L-Isoleucine	$C_6H_{13}O_2N$	131.17	284	41.2 (25°C)	2.36, 9.68	6.02	+11.29 (w, c = 3, 20°C)
L-Leucine	$C_6H_{13}O_2N$	131.17	293–295	24.3 (25°C)	2.36, 9.60	5.98	–10.8 (w, c = 2.2, 25°C)
L-Lysine	$C_6H_{14}O_2N_2$	146.19	224.5	>1000 (25°C)	2.18, 8.95, 10.53	9.47	+14.6 (w, c = 6.5, 20°C)
L-Methionine	$C_5H_{11}O_2NS$	149.21	280–282	53.7 (20°C)	2.28, 9.21	5.74	–8.2 (w, c = 1, 25°C)
L-Phenylalanine	$C_9H_{11}O_2N$	165.19	283	29.6 (25°C)	1.83, 9.13	5.48	–35.1 (w, c = 2, 20°C)
L-Proline	$C_5H_9O_2N$	115.13	220–2	1620 (25°C)	2.00, 10.60	6.30	–80.9 (w, c = 1, 20°C)
L-Serine	$C_3H_7O_3N$	105.09	228	359.7 (20°C)	2.21, 9.15	5.68	–6.8 (w, c = 10, 20°C)
L-Threonine	$C_4H_9O_3N$	119.12	255–257	90.3 (20°C)	2.71, 9.62	6.16	–28.3 (w, c = 1.1, 26°C)
L-Tryptophan	$C_{11}H_{12}O_2N_2$	204.22	290–292	11.4 (25°C)	2.38, 9.39	5.88	–31.5 (w, c = 0.5, 20°C)
L-Tyrosine	$C_9H_{11}O_3N$	181.19	342–344	0.453 (25°C)	2.20, 9.11, 10.07	5.63	–10.6 (1 N HCl, c = 4, 22°C)
L-Valine	$C_5H_{11}O_2N$	117.15	315	88.5 (25°C)	2.32, 9.62	5.96	+22.9 (20%HCl, c = 0.8,23°C)

تدل الحروف W و C على الماء كمذيب والنسبة المئوية للتركيز (وزن/حجم) على التوالى.

١-٢- الحروف المختصرة للأحماض الأمينية Amino acid symbols

الحمض الأمينى Amino acid	الرمز بثلاث حروف Three-letter symbol	الرمز بحرف واحد One-letter symbol
Alanine	Ala	A
Arginine	Arg	R
Asparagine	Asn	N
Aspartic acid	Asp	D
Asn+Asp	Asx	B
Cysteine	Cys	C
Glutamine	Gln	Q
Glutamic acid	Flu	E
Glu+Gln	Glx	Z
Glycine	Gly	G
Histidine	His	H
Isoleucine	Ile	I
Leucine	Leu	L
Lysine	Lys	K
Methionine	Met	M
Phenylalanine	Phe	F
Proline	Pro	P
Serine	Ser	S
Threonine	Thr	T
Tryptophan	Trp	W
Tyrosine	Tyr	Y
Valine	Val	V

الأحماض الأمينية بصفة عامة مواد غير متطايرة، بللورات بيضاء اللون فى الصورة النقية وليس لها درجات انصهار محددة ولكنها تتكسر عند درجات الحرارة التى تتراوح ما بين ١٨٥ و ٣٤٠°م، وعادة لها نشاط ضوئى ما عدا الجليسين، وتذوب إلى حد ما فى الماء وتنخفض درجة ذوبانها فى الماء إلى حد كبير عند نقطة التعادل الكهربى للجزىء.

والأحماض الأمينية لا تذوب فى المذيبات العضوية ماعدا البرولين والهيدروكسى برولين اللذان لهما درجة ذوبان معقولة فى كحول الايثايل. وجميع الأحماض الأمينية تكون أملاح ثابتة.

والجداول السابقة تبين التركيب الكيميائى، الرموز المختصرة (حرف واحد- ثلاثة حروف) وخواص الأحماض الأمينية الشائعة.

١-٣- الخواص الآيونية Ionic properties

تحتوى الأحماض الأمينية على مجموعات حمضية (-COOH) وقاعدية ($-NH_2$)، ونتيجة لذلك فإنها يمكن أن تتفاعل كحمض ضعيف وكقاعدة ضعيفة ولذلك تسمى Ampholytes ويطلق على هذا السلوك باسم Amphiprotic حيث أنها يمكن أن تكتسب أو تعطى بروتون، والذى يمثله التفاعل التالى:-

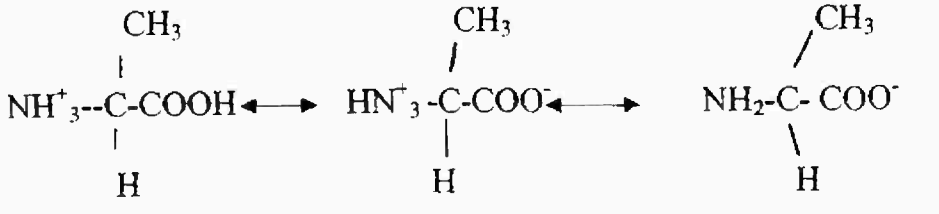
$$R\text{-}N^{+}H_3\text{-}COOH \xrightleftharpoons{+H^{+}} R\text{-}NH_2\text{-}COOH \xrightleftharpoons{-H^{+}} R\text{-}NH_2\text{-}COO^{-} + H^{+}$$

وتتأين المجاميع القابلة للتأين فى الجزىء فى المحلول كما يلى:-

$$-COOH \rightarrow -COO^{-} + H^{+}$$

$$-NH_3^{+} \rightarrow -NH_2 + H+$$

وعلى ذلك يوجد للحمض الأميني في المحلول صورة تسمى ثنائي القطبية Dipolar أو زويتـــر آيون Zwitter ion، أي أنه في المحلول المائي توجـــد الأحماض الأمينية في الصورة المشحونة حيث تتأين كلا المجموعتين الكربوكسيلية والأمينية. وتحتوى بعض الأحماض الأمينية على مجاميع أخرى إضافية قابلة للتأين في السلسلة الجانبية، وأن تأين المجموعة يعتمد على درجة حموضة الوسط (pH)، وكل حمض أميني له درجة حموضة عندها يكون مجموع الشحنات متساويا وبالتالي لا يحمل الجزيء أي شحنة وتسمى في هذه الحالة باسم نقطة التعادل الآيوني Iso-ionic point (PI).

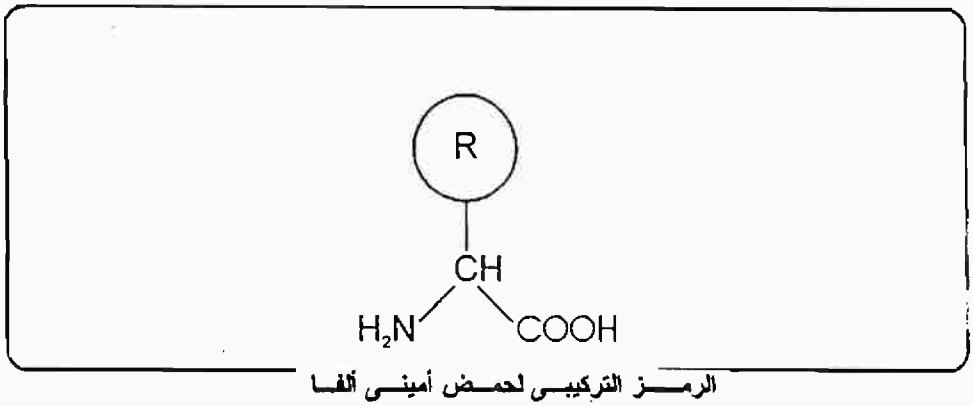


Cationic form **Zwitter ionic form** **Anionic form**

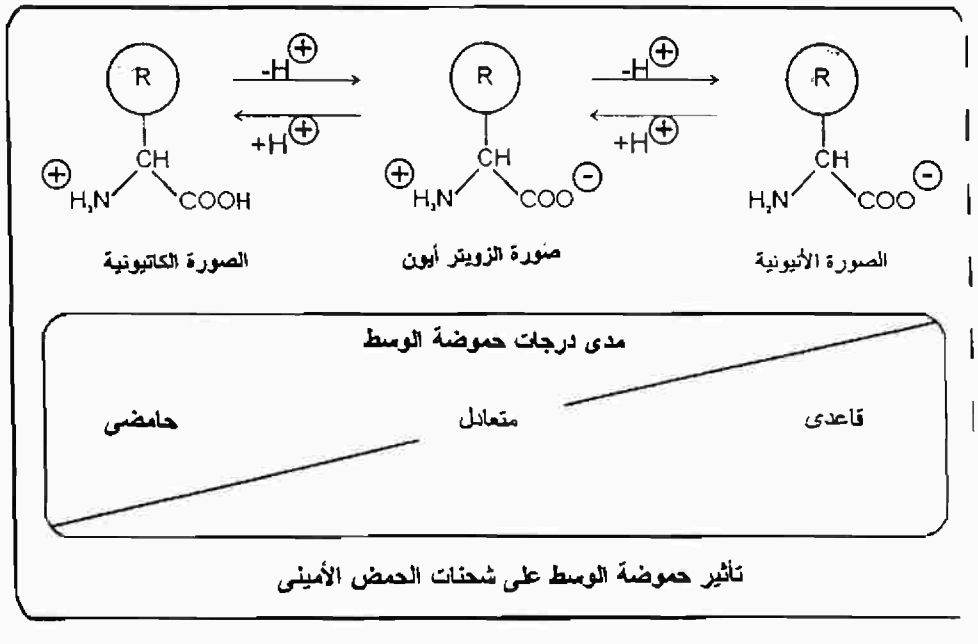
الصورة الكاتيونية صورة الزويتر أيون الصورة الأنيونية

تعتمد الشحنات الكلية لأي حمض أميني على درجة حموضة الوسط (pH) وكذلك قيم ثوابت الانقسام (pka) للمجموعات القابلة للتأين الموجودة. فإذا كانت درجة حموضة الوسط أكبر من ثابت الانقسام للمجموعة فان الجزيء يفقد بروتون. ويحمل الجزيء شحنة سالبة وكذلك عند درجات حموضة (pH) منخفضة (توجد تركيزات مرتفعة من البروتونات) تكتسب مجموعة الكربوكسيل بروتون وبالتالي تصبح غير مشحونة والشحنة الكلية على الجزيء تكون موجبة.

وعند درجات حموضة (pH) مرتفعة (توجد تركيزات منخفضة من البروتونات) تفقد مجموعة الأمين بروتونها وبالتالي تصبح غير مشحونة، والشحنة الكلية على الجزيء تكون سالبة. وكذلك إذا كانت درجة حموضة



الرمـــز التركيبـــى لحمـــض أمينـــى ألفـا



تأثير حموضة الوسط على شحنات الحمض الأمينى

المحلول أقل من ثابت الانقسام فإن الجزىء يحمل شحنة موجبة. وفى الحقيقة عند درجات حموضة وسط متغيرة نلاحظ أن الأحماض الأمينية توجد فى صور آيونية مختلفة وتحمل شحنات مختلفة يمكن استخدامها فى عديد من الطرق التحليلية مثل الفصل عن طريق الهجرة فى المجال الكهربى electrophoresis والتبادل الآيونى الكروماتوجرافى فى فصل كل حمض أمينى عن الآخر.

والمثال التالى يبين سلوك الحمض الأمينى أسبارتيك فى محاليل مختلفة على درجات حموضة (pH) متباينة

حمض اسبارتيك	درجة حموضة الوسط	محصلة الشحنات
H_3^+N-CH(-CH_2-COOH)-COOH	pH=1	1
H_3^+N-CH(-CH_2-COOH)-COO^-	pH=2.8 Isoionic point	0
H_3^+N-CH(-CH_2-COO^-)-COO^-	pH=6.6	-1
H_2N-CH(-CH_2-COO^-)-COO^-	pH=11	-2