

ΛΑΧΑΝΟΚΟΜΙΑ



Θρεπτικά Διαλύματα Για
Καλλιέργειες Εκτός Εδάφους

Θρεπτικό διάλυμα

Είναι ένα αραιό υδατικό διάλυμα όλων των θρεπτικών στοιχείων που είναι απαραίτητα για τα φυτά, τα οποία βρίσκονται διαλυμένα στο νερό:

- ως ιόντα ανόργανων αλάτων
- ως ευδιάλυτες ανόργανες χημικές ενώσεις
- ως ευδιάλυτες οργανικές χημικές ενώσεις



Ιδιότητες θρεπτικών διαλυμάτων

- Ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC)
- pH
- Αναλογίες μεταξύ των κύριων θρεπτικών στοιχείων
- Συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων



Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC)

Electrical Conductivity (EC): Είναι ένα μέγεθος που εκφράζει την ικανότητα ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα (EC) μετράται σε dS m^{-1} .
($1 \text{ dS m}^{-1} = 1 \text{ mS cm}^{-1}$)



Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC)

- Η ικανότητα ενός υδατικού διαλύματος να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα οφείλεται στην παρουσία ιόντων.
- Συνεπώς όσο πιο πολλά ιόντα είναι διαλυμένα στο νερό τόσο μεγαλύτερη είναι η ικανότητά του να άγει το ηλεκτρικό ρεύμα.
- Συνεπώς, η EC είναι ανάλογη της συνολικής συγκέντρωσης ιόντων στο διάλυμα.
- Όμως, η EC δεν μας δίνει πληροφορίες για το είδος των ιόντων (K^+ , Na^+ , SO_4^{2-} , κ.λπ.) που περιέχονται στο υδατικό διάλυμα.



Ηλεκτρική Αγωγιμότητα (EC)

Η EC μπορεί να μετρηθεί εύκολα και γρήγορα στο θερμοκήπιο με την βοήθεια εύχρηστων, φορητών οργάνων.

Γι' αυτό, η μέτρηση της EC χρησιμοποιείται ευρύτατα για τον γρήγορο προσδιορισμό της **συνολικής συγκέντρωσης αλάτων** σε θρεπτικά διαλύματα.



Το pH

- Ένας αριθμός που εκφράζει την συγκέντρωση **Ιόντων υδρογόνου** (H_3O^+) σε ένα θρεπτικό διάλυμα σε λογαριθμική κλίμακα (1 – 14).
- Το pH ενός θρεπτικού διαλύματος είναι πολύ σημαντικό για την θρέψη των φυτών γιατί **επηρεάζει τις χημικές ισορροπίες μεταξύ διαφόρων ιόντων και χημικών ενώσεων** στο θρεπτικό διάλυμα
- Το pH καθορίζει
 - την διαλυτότητα και
 - την διαθεσιμότητα πολλών θρεπτικών στοιχείων για τα φυτά.



Μορφές Θρεπτικών στοιχείων στα θρεπτικά διαλύματα

μακροστοιχείο	Χημική μορφή	Ιχνοστοιχείο	χημική μορφή
άζωτο (N)	NO_3^- , NH_4^+	σίδηρος (Fe)	Fe^{2+}
φώσφορος (P)	H_2PO_4^-	μαγγάνιο (Mn)	Mn^{2+}
θειό (S)	SO_4^{2-}	ψευδάργυρος (Zn)	Zn^{2+}
κάλιο (K)	K^+	χαλκός (Cu)	Cu^{2+}
ασβέστιο (Ca)	Ca^{2+}	βόριο (B)	H_3BO_3
μαγνήσιο (Mg)	Mg^{2+}	μολυβδαίνιο (Mo)	MoO_4^{2-}



Τυπικές συνθέσεις θρεπτικών διαλυμάτων για υδροπονικές καλλιέργειες

Κύριο θρεπτικό στοιχείο	Hoagland & Arnon	Sonneveld & Straver, αγγούρι	Ιχνο-στοιχείο	Hoagland & Arnon	Sonneveld & Straver, αγγούρι
NO_3^-	14.0	16.00	Fe	25.00	15.00
H_2PO_4^-	1.0	1.25	Mn	9.10	10.00
SO_4^{2-}	2.0	1.40	Zn	0.75	5.00
K^+	6.0	8.00	Cu	0.30	0.75
NH_4^+	1.0	1.25	B	46.30	25.00
Ca^{2+}	4.0	4.00	Mo	0.10	0.50
Mg^{2+}	2.0	1.40			



Παρασκευή & παροχή θρεπτικού διαλύματος στα φυτά

- Για να αποφευχθεί η συχνή παρασκευή θρεπτικού διαλύματος, παρασκευάζονται **πυκνά διαλύματα** (συνήθως 100-200 φορές συμπυκνωμένα).
- Τα πυκνά διαλύματα (μητρικά διαλύματα) αραιώνονται σε μία καθορισμένη αναλογία με **νερό άρδευσης** μέσω κατάλληλου εξοπλισμού (**δοσομετρητής**), οπότε προκύπτει το διάλυμα τροφοδοσίας των φυτών.
- Συνήθως υπάρχει και ένα τρίτο μητρικό διάλυμα με οξύ (συνήθως HNO_3) για έλεγχο **pH του διαλύματος**.



Παρασκευή θρεπτικού φυτά

& παροχή διαλύματος στα

- Πρέπει απαραίτητα να χρησιμοποιούνται δύο τουλάχιστον δοχεία πυκνών διαλυμάτων, γιατί το νιτρικό ασβέστιο δεν μπορεί να τοποθετηθεί στο ίδιο δοχείο με φωσφορικά και θειικά λιπάσματα.



- Κάτι τέτοιο θα οδηγούσε σε κατακρήμνιση δισόξινου φωσφορικού ασβεστίου ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$) και CaSO_4 , λόγω χαμηλής διαλυτότητας αυτών των λιπασμάτων.



Παρασκευή & παροχή θρεπτικού διαλύματος στα φυτά



Πυκνά διαλύματα Α, Β και οξέως



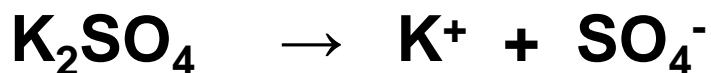
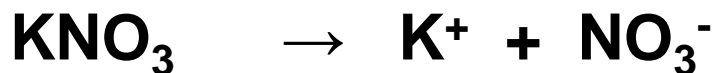
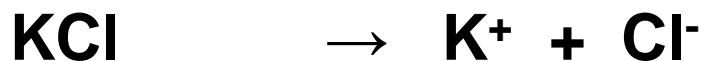
Δυσκολίες κατάρτισης σύνθεσης ενός θρεπτικού διαλύματος σε μακροστοιχεία

I. Σύνδεση ανιόντων - κατιόντων

Χορήγηση ενός ιόντος συνοδεύεται απαραίτητα από την χορήγηση ενός άλλου ιόντος αντίθετου φορτίου στην ίδια κανονική συγκέντρωση.

Παράδειγμα: Προσθήκη καλίου (K):

Δυνατές επιλογές:



Δυσκολίες κατάρτισης σύνθεσης ενός θρεπτικού διαλύματος σε μακροστοιχεία 2/3

II. Σύσταση νερού άρδευσης

- Συχνά το νερό άρδευσης περιέχει σημαντικές ποσότητες:
 - των θρεπτικών μακροστοιχείων Ca, Mg, S (SO_4^{2-})
 - των ιχνοστοιχείων Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , B και Cl^-
 - των μακρο-ιόντων HCO_3^- και Na^+

Μερικές φορές οι συγκεντρώσεις των παραπάνω στοιχείων στο νερό προσεγγίζουν ή υπερβαίνουν τις τιμές - στόχο για το θρεπτικό διάλυμα.



Δυσκολίες κατάρτισης σύνθεσης ενός θρεπτικού διαλύματος σε μακροστοιχεία 3/3

III. Ρύθμιση pH

- Η παρουσία HCO_3^- στο νερό άρδευσης το καθιστά αλκαλικό
- Για να μειωθεί το pH του νερού όμως, απαιτείται η προσθήκη οξέως (H^+) για την απομάκρυνση των ιόντων HCO_3^-
- Η παροχή H^+ όμως συνοδεύεται και από την προσθήκη ενός ανιόντος που πρέπει να συνυπολογισθεί στις χορηγούμενες ποσότητες θρεπτικών στοιχείων



Επιθυμητά χαρακτηριστικά θρεπτικού διαλύματος

1η επιλογή: Καθορισμός συγκεντρώσεων για όλα τα θρεπτικά στοιχεία

- pH
- Συγκεντρώσεις (mM) κύριων θρεπτικών στοιχείων (K, Ca, Mg, NH₄-N, NO₃-N, H₂PO₄-P)
- Συγκεντρώσεις (mM) ιχνοστοιχείων (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo)



Καθορισμός συγκεντρώσεων για όλα τα θρεπτικά στοιχεία

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΑΝΟΙΧΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Πυκνά διαλύματα	V, m ³	A	Επιθυμητά χαρακτηριστικά Θ.Δ.		Χημική σύσταση νερού	
Πυκνό διάλυμα A	0.5	100	E _t *	2.01 dS/m	E.C.	0.32 dS/m
Πυκνό διάλυμα B	0.5	100	pH opt.	5.6	pH	7.3
Πυκνό διάλυμα οξέως	0.2	200	[K]	8.500 mmol/l	Ca ²⁺	0.90 mmol/l
Επιλογή λιπάσματος φωσφόρου:			[Ca]	3.600 mmol/l	Mg ²⁺	0.30 mmol/l
Επιλέξτε 1 για φωσφορικό μονοκάλιο ή 2 για φωσφορικό οξύ			[Mg]	1.500 mmol/l	K ⁺	0.00 mmol/l
			[NO ₃]	15.500 mmol/l	NH ₄ ⁺	0.00 mmol/l
Επιλογή λιπάσματος βορίου: Επιλέξτε 1 για βορικό οξύ, 2 για τετραβορικό νάτριο (βόρακας) ή 3 για οκταβορικό νάτριο (solubor)			[NH ₄]	1.000 mmol/l	Na ⁺	0.40 mmol/l
			[H ₂ PO ₄ ⁻]	1.250 mmol/l	SO ₄ ²⁻	0.20 mmol/l
Επιλογή λιπάσματος μολυβδαινίου:			[Fe] _t	12.00 μmol/l	NO ₃ ⁻	0.00 mmol/l
Επιλέξτε 1 για επταμολυβδαινικό αμμώνιο ή 2 για μολυβδαινικό νάτριο			[Mn] _t	10.00 μmol/l	H ₂ PO ₄ ⁻	0.00 mmol/l
			[Zn] _t	4.00 μmol/l	HCO ₃ ⁻	2.00 mmol/l
			[Cu] _t	0.75 μmol/l	Cl ⁻	0.40 mmol/l
Επιθυμητές τιμές K, Ca, Mg: Επιλέξτε 1 για αναλογία K:Ca:Mg (mmol/mmol) ή 2 για συγκεντρώσεις (mmol/L)			[B] _t	20.00 μmol/l	Fe	0.00 μmol/l
			[Mo] _t	0.50 μmol/l	Mn ⁺⁺	0.00 μmol/l
			[Si]	0.00 mmol/l	Zn ⁺⁺	2.15 μmol/l
Επιλέξτε 1 για εισαγωγή επιθυμητής τιμής N/K (mmol/mmol) ή 2 για επιθυμητή συγκέντρωση NO ₃ (mmol/L)			% καθαρό λίπασμα		Cu ⁺⁺	0.00 μmol/l
			καθαρό HNO ₃ %	68	B	0.00 μmol/l
			καθαρό H ₃ PO ₄ %	85	Mo	0.00 μmol/l
Επιλέξτε 1 για εισαγωγή επιθυμητής τιμής NH ₄ /(NH ₄ +NO ₃) (mmol/mmol) ή 2 για επιθυμητή συγκέντρωση NH ₄ (mmol/L)			% Fe στον χηλικό σίδηρο (w/w)	6	Si	0.00 mmol/l
			KNO ₃ στο Π.Δ. A (%)		30	
			KNO ₃ στο Π.Δ. B (%)		70	

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Κατιόντα/ανιόντα	C.C.S	C.C.W.	C.A.F.	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Si
C.A.S.	20.10			2.58	15.50	1.25	0.37	0.40	0.00
C.A.W.		2.80		0.40	0.00	0.00	2.00	0.40	0.00
A.A.F.			18.93	2.18	15.50	1.25	0.00	0.00	0.00
Ca ²⁺	7.20	1.80	5.40	0.00	5.40	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg ²⁺	3.00	0.60	2.40	2.18	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	8.50	0.00	8.50	0.00	7.25	1.25	0.00	0.00	0.00
NH ₄ ⁺	1.00	0.00	1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ⁺	0.40	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H ⁺	0.00	0.00	1.63	0.00	1.63	0.00	0.00	0.00	0.00

* Σημαντική παρατήρηση: Επιθυμητή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) εισάγεται μόνο όταν καθορίζονται επιθυμητές αναλογίες για τα μακροκατιόντα (K:Ca:Mg). Όταν εισάγονται επιθυμητές συγκεντρώσεις K, Ca, Mg, τότε το πρόγραμμα θα υπολογίσει αυτόματα την EC που αντιστοιχεί σε αυτές τις συγκεντρώσεις.

Καλλιεργητής:

Καλλιεργούμενο είδος:
Τύπος θρεπτικού διαλύματος:
Ημερομηνία:

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΒΑΡΗ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ

E.C.	2.20 dS/m
pH	5.6
Πυκνό διάλυμα A 500 ΛΙΤΡΑ	
1 Νιτρικό ασβέστιο	29.174 Kg
2 Νιτρικό κάλιο	10.995 Kg
3 Νιτρικό αμμώνιο	1.841 Kg
4 Χηλικός σίδηρος	0.559 Kg

Πυκνό διάλυμα B 500 ΛΙΤΡΑ

1 Νιτρικό κάλιο	25.654 Kg
2 Θεικό μαγνήσιο	13.446 Kg
3 Νιτρικό μαγνήσιο	1.386 Kg
4 Φωσφορικό μονοκάλιο	8.506 Kg
5 Θεικό κάλιο	0.000 Kg
6 Φωσφορικό οξύ	0.000 λίτρα
7 Θεικό μαγγάνιο	84.50 g
8 Θεικός ψευδάργυρος	26.55 g
9 Θεικός χαλκός	9.36 g
10 Βορικό οξύ	61.80 g
11 Βόρακας	0.00 g
12 Solubor	0.00 g
13 Επταμολυβδαινικό αμμώνιο	0.00 g
14 Μολυβδαινικό νάτριο	6.05 g

Πυκνό διάλυμα οξέως 200 ΛΙΤΡΑ

1 Νιτρικό οξύ	4.264 λίτρα
---------------	-------------

Υπολογισμοί (C_b) για προσθήκη οξέως

[H ₃ O ⁺] _w	5.01187E-08
B _w	11.01
[CO ₃ ²⁻]+[HCO ₃ ⁻]+[H ₂ CO ₃]	0.002202
[H ₃ O ⁺] _(n.s.)	2.51189E-06
B _(n.s.)	1.199530213

[K]	#ΔΙΑΙΡ/0!	Σ _{cation(n.s.)}	20.10
[NH ₄ ⁺]	131.75	Σ _{anion(n.s.)}	20.10

Επιθυμητά χαρακτηριστικά θρεπτικού διαλύματος

2η επιλογή: Καθορισμός αναλογιών μεταξύ των μακροστοιχείων

- Ηλεκτρική αγωγιμότητα (dS/m)
- pH
- Συγκέντρωση (mM) φωσφόρου (H_2PO_4^-)
- Αναλογίες συγκεντρώσεων μακροστοιχείων (meq/meq)
 - K:Ca:Mg
 - N:K
 - $\text{NH}_4\text{-N}/(\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N})$
- Συγκεντρώσεις (mM) ιχνοστοιχείων (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo)



Καθορισμός αναλογιών μεταξύ των μακροστοιχείων

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ ΔΙΑΛΥΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΑΝΟΙΧΤΑ ΥΔΡΟΠΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Πυκνά διαλύματα	V, m ³	A	Επιθυμητά χαρακτηριστικά Θ.Δ.		Χημική σύσταση νερού	
Πυκνό διάλυμα A	0.5	100	E _t *	2.01 dS/m	E.C.	0.32 dS/m
Πυκνό διάλυμα B	0.5	100	pH opt.	5.6	pH	7.3
Πυκνό διάλυμα οξέως	0.2	200	X: (K)	0.620	Ca ²⁺	0.90 mmol/l
Επιλογή λιπάσματος φωσφόρου:			Y: (Ca)	0.280	Mg ²⁺	0.30 mmol/l
Επιλέξτε 1 για φωσφορικό μονοκάλιο ή 2 για φωσφορικό οξύ			Z: (Mg)	0.100	K ⁺	0.00 mmol/l
Επιλογή λιπάσματος βορίου: Επιλέξτε 1 για βορικό οξύ, 2 για τετραβορικό νάτριο (βόρακας) ή 3 για οκταβορικό νάτριο (solubor)			R (tot.-N/K)	2.100	NH ₄ ⁺	0.00 mmol/l
Επιλογή λιπάσματος μολυβδαινίου: Επιλέξτε 1 για επταμολυβδαινικό αμμώνιο ή 2 για μολυβδαινικό νάτριο			Nr (NH ₄ /tot.-N)	0.080	Na ⁺	0.40 mmol/l
Επιλογή λιπάσματος μολυβδαινίου: Επιλέξτε 1 για επταμολυβδαινικό αμμώνιο ή 2 για μολυβδαινικό νάτριο			[H ₂ PO ₄ ⁻]	1.250 mmol/l	SO ₄ ²⁻	0.20 mmol/l
Επιθυμητές τιμές K, Ca, Mg: Επιλέξτε 1 για αναλογία K:Ca:Mg (mmol/mmol) ή 2 για συγκεντρώσεις (mmol/L)			[Fe] _t	12.00 μmol/l	NO ₃ ⁻	0.00 mmol/l
Επιλέξτε 1 για εισαγωγή επιθυμητής πηγής N/K (mmol/mmol) ή 2 για επιθυμητή συγκέντρωση NO ₃ (mmol/L)			[Mn] _t	10.00 μmol/l	H ₂ PO ₄ ⁻	0.00 mmol/l
Επιλέξτε 1 για εισαγωγή επιθυμητής πηγής NH ₄ /(NH ₄ +NO ₃) (mmol/mmol) ή 2 για επιθυμητή συγκέντρωση NH ₄ (mmol/L)			[Zn] _t	4.00 μmol/l	HCO ₃ ⁻	2.00 mmol/l
			[Cu] _t	0.75 μmol/l	Cl ⁻	0.40 mmol/l
			[B] _t	20.00 μmol/l	Fe	0.00 μmol/l
			[Mo] _t	0.50 μmol/l	Mn ⁺⁺	0.00 μmol/l
			[Si]	0.00 mmol/l	Zn ⁺⁺	2.15 μmol/l
			% καθαρό λίπασμα		Cu ⁺⁺	0.00 μmol/l
			καθαρό HNO ₃ %	68	B	0.00 μmol/l
			καθαρό H ₃ PO ₄ %	85	Mo	0.00 μmol/l
			% Fe στον χηλικό σίδηρο (w/w)	6	Si	0.00 mmol/l
					KNO ₃ στο Π.Δ. A (%)	30
					KNO ₃ στο Π.Δ. B (%)	70

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Κατιόντα/ανιόντα	C.C.S	C.C.W.	C.A.F.	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Si
C.A.S.	18.25			1.83	14.41	1.25	0.37	0.40	0.00
C.A.W.		2.80		0.40	0.00	0.00	2.00	0.40	0.00
A.A.F.			17.09	1.43	14.41	1.25	0.00	0.00	0.00
Ca ²⁺	6.74	1.80	4.94	0.00	4.94	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg ²⁺	2.41	0.60	1.81	1.43	0.38	0.00	0.00	0.00	0.00
K ⁺	7.46	0.00	7.46	0.00	6.21	1.25	0.00	0.00	0.00
NH ₄ ⁺	1.25	0.00	1.25	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ⁺	0.40	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H ⁺	0.00	0.00	1.63	0.00	1.63	0.00	0.00	0.00	0.00

* Σημαντική παρατήρηση: Επιθυμητή τιμή ηλεκτρικής αγωγιμότητας (EC) εισάγεται μόνο όταν καθορίζονται επιθυμητές αναλογίες για τα μακροκατιόντα (K:Ca:Mg). Όταν εισάγονται επιθυμητές συγκεντρώσεις K, Ca, Mg, τότε το πρόγραμμα θα υπολογίσει αυτόματα την EC που αντιστοιχεί σε αυτές τις συγκεντρώσεις.

Καλλιεργητής:

Καλλιεργούμενο είδος:
Τύπος θρεπτικού διαλύματος:
Ημερομηνία:

ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΒΑΡΗ ΛΙΠΑΣΜΑΤΩΝ

E.C.	2.01 dS/m	
pH	5.6	
Πυκνό διάλυμα A 500 ΛΙΤΡΑ		
1 Νιτρικό ασβέστιο	26.671 Kg	
2 Νιτρικό κάλιο	9.415 Kg	
3 Νιτρικό αμμώνιο	3.039 Kg	
4 Χηλικός σίδηρος	0.559 Kg	
Πυκνό διάλυμα B 500 ΛΙΤΡΑ		
1 Νιτρικό κάλιο	21.969 Kg	
2 Θεικό μαγνήσιο	8.794 Kg	
3 Νιτρικό μαγνήσιο	2.421 Kg	
4 Φωσφορικό μονοκάλιο	8.506 Kg	
5 Θεικό κάλιο	0.000 Kg	
6 Φωσφορικό οξύ	0.000 λίτρα	
7 Θεικό μαγγάνιο	84.50 g	
8 Θεικός ψευδάργυρος	26.55 g	
9 Θεικός χαλκός	9.36 g	
10 Βορικό οξύ	61.80 g	
11 Βόρακας	0.00 g	
12 Solubor	0.00 g	
13 Επταμολυβδαινικό αμμώνιο	0.00 g	
14 Μολυβδαινικό νάτριο	6.05 g	
Πυκνό διάλυμα οξέως 200 ΛΙΤΡΑ		
1 Νιτρικό οξύ	4.264 λίτρα	
Υπολογισμοί (C _b) για προσθήκη οξέως		
[H ₃ O ⁺] _w	5.01187E-08	
B _w	11.01	
[CO ₃ ²⁻]+[HCO ₃ ⁻]+[H ₂ CO ₃]	0.002202	
[H ₃ O ⁺] _(n.s.)	2.51189E-06	
B _(n.s.)	1.199530213	
[K]	7.46	Σ _{cation(n.s.)} 18.25
[NH ₄ ⁺]	1.253052323	Σ _{anion(n.s.)} 18.25

www.ekk.aua.gr/excel/index.htm

