

KESAN PENAMBAHAN KATION KALIUM,
NATRIUM DAN KALSIUM TERHADAP
CIRI-CIRI PENGELAN SERBUK
RUMPAI LAUT
(*Eucheuma cottonii*)

LO YUN LIN

PERPUSTAKAAN
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

LATIHAN ILMIAH YANG DIKEMUKAKAN UNTUK
MEMENUHI SEBAHAGIAN DARIPADA SYARAT
MEMPEROLEHI IJAZAH SARJANA MUDA
SAINS MAKANAN DENGAN KEPUJIAN
(TEKNOLOGI MAKANAN DAN BIOPROSES)

PROGRAM TEKNOLOGI MAKANAN DAN BIOPROSES
SEKOLAH SAINS MAKANAN DAN PEMAKANAN
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

2006



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS

JUDUL: KESAN PENAMBAHAN KATION KALIUM, NATRIUM DAN ICALCIUM TERHADAP
CIRI-CIRI PENGETAHUAN SERBUK RUMPAI LAUT (*Eucheuma cottonii*)

IJAZAH: SARJANA MUDA SAINS MAKANAN (TEKNOLOGI MAKANAN DAN BIOPROSES)

SESI PENGAJIAN: 2003 / 2004

Saya LO YUN LIN

(HURUF BESAR)

mengaku membenarkan tesis (LPS/ Sarjana/ Doktor Falsafah) ini di simpan di Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:

1. Tesis adalah hak milik Universiti Malaysia Sabah.
2. Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi.
4. ** Sila tandakan (/)

SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972)

TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan)

TIDAK TERHAD

Disahkan oleh

~~(TANDATANGAN PUSTAKAWAN)~~

(TANDATANGAN PENULIS)

Alamat Tetap: LOT 102, TAMAN DAMAI,
BATU 4, JALAN LABUK, 91000
SANDAKAN, SABAH.

DR LEE JAU SHYA

Nama Penyelia

Tarikh: 24 MEI 2006

Tarikh: 24/5/06

CATATAN: * Potong yang tidak berkenaan.

* Jika tesis ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organsasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh tesis ini perlu dikelaskan sebagai SULIT dan TERHAD.

* Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana secara penyelidikan, atau disertasi bagi pengajian secara kerja kursus dan penyelidikan, atau Laporan Projek Sarjana Muda (LPSM).

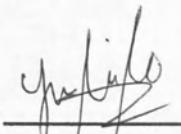


UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PENGAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan, ringkasan dan rujukan yang tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya.

02 JUN 2006



LO YUN LIN

HN2003-2523



UMS
UNIVERSITI MAI AYSIA SARAH

PENGAKUAN PEMERIKSA**DIPERAKUIKAN OLEH****Tandatangan****1. PENYELIA**

(DR. LEE JAU SHYA)

2. PEMERIKSA-1

(PROF. MADYA DR. MOHD. ISMAIL ABDULLAH)

3. PEMERIKSA-2

(CIK NOR QHAIRUL IZZREEN MOHD NOOR)

4. DEKAN

(PROF. MADYA DR. MOHD. ISMAIL ABDULLAH)

**UMS**
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PENGHARGAAN

Terlebih dahulu, saya ingin merakamkan jutaan terima kasih kepada pihak Sekolah Sains Makanan dan Pemakanan (SSMP) kerana telah banyak memberi kemudahan dan bantuan kepada saya sepanjang kajian dijalankan. Jutaan terima kasih dan setinggi-tinggi penghargaan ini juga saya tujukan khas kepada Dr. Lee Jau Shya, selaku penyelia saya yang banyak memberikan tunjuk ajar, bantuan, bimbingan dan nasihat kepada saya sepanjang kajian ini.

Di samping itu, ribuan terima kasih juga ditujukan kepada pembantu makmal SSMP kerana sudi membuka makmal sehingga lewat malam dan banyak memberi bantuan kepada saya sepanjang perlaksanaan amali makmal. Jasa kalian yang disumbangkan tidak akan saya lupakan.

Untuk rakan-rakan seperjuangan yang dikasihi, terima kasih atas persahabatan kalian dan bantuan-bantuan yang dihulurkan sepanjang kajian ini dijalankan. Begitu juga dengan kerjasama dan sikap bertimbang rasa yang amat penting dalam perkongsian penggunaan makmal SSMP.

Akhirnya, tidak lupa juga saya ucapkan jutaan terima kasih kepada keluarga saya yang tercinta dan tersayang yang kini berada di kampung halaman, terutamanya ibu bapa saya yang telah banyak memberikan sokongan dan dorongan serta sumber kewangan yang diperlukan untuk menyempurnakan penyelidikan ini. Tanpa sokongan dan dorongan anda semua, tidak mungkin saya dapat menyiapkan kajian ini dengan berjayanya dalam tempoh masa yang ditetapkan.

Sekian, terima kasih.



ABSTRAK

Penyelidikan ini dijalankan untuk mengkaji kesan penambahan pelbagai kepekatan kation K^+ , Na^+ dan Ca^{2+} terhadap ciri-ciri pengelan serbuk rumpai laut *Eucheuma cottonii* seperti kekuatan gel, kapasiti mengikat air, sineresis dan kestabilan sejukbeku-nyahsejukbeku. Perbandingan antara gel serbuk karaginan separa tulen (KST) dan serbuk rumpai laut (SRL) mendapati bahawa gel KST mempunyai kekuatan gel yang tinggi berbanding SRL ($P<0.05$). Juga didapati gel KST mempunyai peratusan sineresis yang tinggi ($P<0.05$). Namun, kedua-dua gel KST dan SRL adalah tidak stabil terhadap kestabilan sejukbeku-nyahsejukbeku ($r = -0.791^{**}$; $r = -0.460^{**}$) dan tidak terdapat perbezaan signifikan ($P>0.05$) bagi kapasiti mengikat air. Penambahan kepekatan ion K^+ didapati memperbaiki kekuatan gel SRL ($r = 0.923^{**}$), sebaliknya penambahan ion Na^+ dan Ca^{2+} pada kepekatan melebihi 0.02 M dan 0.01 M akan menurunkan kekuatan gel. Peratusan sineresis meningkat dengan penambahan ion K^+ ($r = 0.623^{**}-0.932^{**}$). Sebaliknya peratusan sineresis meningkat dengan penambahan kedua-dua ion Na^+ dan Ca^{2+} sehingga mencapai tahap kritikal dan menurun dengan penambahan kepekatan. Peratusan sineresis dengan penambahan ketiga-tiga ion ini juga meningkat dengan tempoh penyimpanan ($P<0.05$). Penambahan ion K^+ ($P>0.05$) didapati tidak mempengaruhi kapasiti mengikat air manakala perbezaan signifikan ($P<0.05$) wujud pada ion Na^+ dan Ca^{2+} . Pada hakikatnya, kapasiti mengikat air adalah lebih dipengaruhi oleh suhu penyimpanan ($P<0.05$). Gel SRL adalah tidak stabil terhadap kestabilan sejukbeku-nyahsejukbeku dengan penambahan ketiga-tiga ion ini ($P<0.05$). Penambahan ketiga-tiga ion akan menyebabkan ketidakstabilan sejukbeku-nyahsejukbeku ($r = -0.882^{**}- -0.924^{**}$). Secara keseluruhannya, penambahan ion ke atas gel SRL akan menyebabkan berlakunya sineresis dan ketidakstabilan sejukbeku-nyahsejukbeku. Akan tetapi, penambahan ion pada kepekatan tertentu ke atas SRL akan memperbaiki kekuatan gel dan mengekalkan kapasiti mengikat air.



**EFFECT OF POTASSIUM, SODIUM AND CALCIUM CATION ON
GELLING PROPERTIES OF SEAWEED POWDER
(*Eucheuma cottonii*)**

ABSTRACT

This research was carried out to study the effect of K^+ , Na^+ dan Ca^{2+} cation at different concentrations on gelling properties of *Eucheuma cottonii* such as gel strength, water holding capacity (WHC), syneresis and freeze-thaw stability (FTS). It was found that the gel strength of semi-refined carrageenan (KST) is higher than seaweed powder (SRL) ($P<0.05$). It was also reported that percentage syneresis of the KST is higher ($P<0.05$). However, both KST and SRL were unstable towards FT cycle ($r = -0.791^{**}$; $r = -0.460^{**}$) and no significant difference ($P>0.05$) was detected for WHC. Gel strength of the SRL gel increased with increasing of K^+ ion concentration ($r = 0.923^{**}$). In contrast, addition of Na^+ and Ca^{2+} at higher concentration than 0.02 M and 0.01 M decreased the gel strength. Percentage of syneresis increased with increase of K^+ ion ($r = 0.623^{**}$ - 0.932^{**}). On the other hand, syneresis increased with addition of Na^+ and Ca^{2+} to a critical level and declined at higher concentration. The increase of percentage syneresis for SRL gel added with these 3 ions also affected by the storage duration ($P<0.05$). Addition of K^+ did not affect WHC ($P>0.05$) whereas significant difference ($P<0.05$) was detected between Na^+ and Ca^{2+} . WHC was found more affected by the storage temperature ($P<0.05$). SRL gel was unstable against FTS ($P<0.05$) in the presence of these three ions. The increasing concentration of these three ion caused instability of FTS ($r = -0.882^{**}$ - -0.924^{**}). In conclusion, addition of cation to SRL gel may induce syneresis and reduce FTS. Nevertheless, increasing of ion to a certain concentration will improve the gel strength and maintain the WHC.



KANDUNGAN

	HALAMAN
HALAMAN	i
PENGAKUAN	ii
PENGAKUAN PEMERIKSA	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KANDUNGAN	vii
SENARAI JADUAL	xi
SENARAI RAJAH	xii
SENARAI LAMPIRAN	xiv
SINGKATAN	xv
SIMBOL	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Pengenalan	1
1.2 Objektif kajian	5
BAB 2 ULASAN KEPUSTAKAAN	
2.1 Rumpai laut	6
2.2 <i>Eucheuma cottonii</i>	8
2.3 Rumpai laut merah sebagai sumber karaginan	10
2.3.1 Pengekstrakan karaginan dan karaginan separa tulen	13
2.3.2 Struktur <i>kappa</i> -karaginan (κ -karaginan)	16
2.3.3 Sifat-sifat fizikal <i>kappa</i> -karaginan	18
2.3.3.1 Keterlarutan	18



2.3.3.2 Pengelan	19
2.3.3.3 Kestabilan pH	20
2.3.3.4 Tindak balas dengan protein	21
2.3.4 Mekanisme pengelan karaginan	22
2.3.4.1 Interaksi ion-ion dengan karaginan	25
2.4 Kegunaan karaginan dalam makanan	27
2.4.1 Produk makanan berdasarkan hasil tenusu	28
2.4.2 Produk makanan berdasarkan air	29
2.4.3 Produk daging	30
2.4.4 Produk bakeri	31
2.5 Peraturan penggunaan karaginan	31
BAB 3 BAHAN DAN KAEADAH	
3.1 Bahan	33
3.2 Kaedah	34
3.2.1 Penyediaan SRL <i>E. Cottonii</i>	34
3.2.2 Ekstraksi karaginan separa tulen (KST) <i>E. Cottonii</i>	34
3.2.3 Penentuan kandungan kelembapan	35
3.2.4 Penyediaan gel	35
3.2.5 Ujian penembusan	36
3.2.6 Ujian sineresis	36
3.2.7 Penentuan kapasiti mengikat air	37
3.2.8 Penentuan kestabilan sejukbeku-nyahsejukbeku gel	38
3.2.9 Analisis statistik	38
BAB 4 HASIL DAN PERBINCANGAN	
4.1 Peratusan perolehan	39
4.2 Peratusan kandungan kelembapan	39

4.3	Ujian penembusan	40
4.3.1	Perbandingan gel SRL & KST	40
4.3.2	Kesan penambahan ion K^+	41
4.3.3	Kesan penambahan ion Ca^{2+}	43
4.3.4	Kesan penambahan ion Na^+	46
4.3.5	Perbandingan kesan ion-ion K^+ , Ca^{2+} dan Na^+	48
4.4	Ujian sineresis	49
4.4.1	Perbandingan gel SRL & KST	49
4.4.2	Kesan penambahan ion K^+	51
4.4.3	Kesan penambahan ion Ca^{2+}	53
4.4.4	Kesan penambahan ion Na^+	55
4.4.5	Perbandingan kesan ion-ion K^+ , Ca^{2+} dan Na^+	57
4.5	Kapasiti mengikat air	58
4.5.1	Perbandingan gel SRL & KST	58
4.5.2	Kesan penambahan ion K^+	59
4.5.3	Kesan penambahan ion Ca^{2+}	60
4.5.4	Kesan penambahan ion Na^+	61
4.5.5	Perbandingan kesan ion-ion K^+ , Ca^{2+} dan Na^+	63
4.6	Kestabilan sejukbeku-nyahsejukbeku	64
4.6.1	Perbandingan gel SRL & KST	64
4.6.2	Kesan penambahan ion K^+	66
4.6.3	Kesan penambahan ion Ca^{2+}	68
4.6.4	Kesan penambahan ion Na^+	70
4.6.5	Perbandingan kesan ion-ion K^+ , Ca^{2+} dan Na^+	72

BAB 5 KESIMPULAN DAN CADANGAN

5.1 Kesimpulan	74
5.2 Cadangan	76

RUJUKAN	77
----------------	----

LAMPIRAN	85
-----------------	----



SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK JADUAL	HALAMAN
2.1	Pengeluaran rumpai laut (metrik tan) di beberapa negara	8
2.2	Karaginan yang diperoleh daripada genus alga merah	13
2.3	Pengiktirafan penggunaan karaginan	32
3.1	Bahan-bahan kimia yang terlibat dalam kajian ini	33
3.2	Instrumen-instrumen yang diperlukan dalam ujian-ujian	33
4.1	Pekali Pearson korelasi (r) bagi setiap kepekatan KCl dalam kajian ini	52
4.2	Pekali Pearson korelasi (r) bagi setiap tempoh penyimpanan dalam kajian ini	52
4.3	Pekali Pearson korelasi (r) bagi setiap kepekatan CaCl_2 dalam kajian ini	54
4.4	Pekali Pearson korelasi (r) bagi setiap kepekatan NaCl dalam kajian ini	56
4.5	Pekali Pearson korelasi (r) bagi setiap sampel dalam kajian ini	65
4.6	Pekali Pearson korelasi (r) bagi setiap kepekatan KCl dalam kajian ini	67
4.7	Pekali Pearson korelasi (r) bagi setiap kitaran FT dalam kajian ini	67
4.8	Pekali Pearson korelasi (r) bagi setiap kepekatan CaCl_2 dalam kajian ini	70
4.9	Pekali Pearson korelasi (r) bagi setiap kitaran FT dalam kajian ini	70
4.10	Pekali Pearson korelasi (r) bagi setiap kitaran FT dalam kajian ini	71



SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK RAJAH	HALAMAN
2.1	Ciri-ciri morfologi <i>Eucheuma</i> spesis	9
2.2	Bahagian-bahagian bersilang yang terdapat pada rumpai laut merah	11
2.3	Proses penghasilan karaginan separa tulen	14
2.4	Struktur kimia pembentukan κ -karaginan daripada μ -karaginan	17
2.5	Mekanisme pengelan bagi karaginan	24
4.1	Kekuatan gel bagi 2% (b/b) SRL <i>E. cottonii</i> dan KSTnya	40
4.2	Kesan ion K^+ terhadap kekuatan gel SRL <i>E. cottonii</i> pada kepekatan tertentu	42
4.3	Kekuatan gel dalam kepekatan ion K^+ yang dilogkan	43
4.4	Kesan ion Ca^{2+} terhadap kekuatan gel SRL <i>E. cottonii</i> pada kepekatan tertentu	44
4.5	Kesan ion Na^+ terhadap Kekuatan gel SRL <i>E. cottonii</i> pada kepekatan tertentu	47
4.6	Kekuatan tertinggi gel SRL dengan kehadiran ion-ion berbanding dengan 2% SRL dan KST	49
4.7	Sineresis gel 2% (b/b) SRL <i>E. cottonii</i> dan KST dalam masa 10 hari	50
4.8	Penambahan ion K^+ pada kepekatan yang berlainan ke atas sineresis SRL <i>E. cottonii</i> dalam tempoh 10 hari	52
4.9	Penambahan ion Ca^{2+} pada kepekatan yang berlainan ke atas sineresis SRL <i>E. cottonii</i> dalam tempoh 10 hari	54
4.10	Penambahan ion Na^+ pada kepekatan yang berlainan ke atas sineresis SRL <i>E. cottonii</i> dalam tempoh 10 hari	56
4.11	Perbandingan penambahan ion K^+ , Na^+ dan Ca^{2+} yang minimum ke atas sineresis dengan 2% SRL <i>E. cottonii</i> dan KST	57
4.12	Peratusan WHC gel 2% (b/b) SRL <i>E. cottonii</i> dan KST	59



4.13	WHC bagi SRL dengan penambahan ion K ⁺ pada kepekatan tertentu yang disimpan pada suhu bilik (26-27°C) dan peti sejuk (2-5°C)	60
4.14	WHC bagi SRL dengan penambahan ion Ca ²⁺ pada kepekatan tertentu yang disimpan pada suhu bilik (26-27°C) dan peti sejuk (2-5°C)	61
4.15	WHC bagi SRL dengan penambahan ion Na ⁺ pada kepekatan tertentu yang disimpan pada suhu bilik (26-27°C) dan peti sejuk (2-5°C)	62
4.16	Peratusan air dalam gel dengan penambahan pelbagai jenis ion pada kepekatan paling rendah ke atas 2% SRL	63
4.17	kestabilan sejukbeku-nyahsejukbeku 2% (b/b) gel SRL dan KST pada 5 kitaran FT	65
4.18	kestabilan sejukbeku-nyahsejukbeku gel SRL dengan penambahan ion K ⁺	67
4.19	kestabilan sejukbeku-nyahsejukbeku gel SRL dengan penambahan ion Ca ²⁺	69
4.20	kestabilan sejukbeku-nyahsejukbeku gel SRL dengan penambahan ion Na ⁺	71
4.21	Perbandingan penambahan ion K ⁺ , Na ⁺ dan Ca ²⁺ ke atas peratusan kandungan air 2% SRL <i>E. Cottonii</i> .	73



SENARAI LAMPIRAN

NO. LAMPIRAN	TAJUK LAMPIRAN	HALAMAN
A	Foto-foto semasa kajian	85
B	Keputusan ujian-ujian yang dilakukan	88
C	Hasil akhir SPSS bagi kekuatan gel	92
D	Hasil akhir SPSS bagi sineresis	96
E	Hasil akhir SPSS bagi kapasiti mengikat air	111
F	Hasil akhir SPSS bagi kestabilan sejukbeku-nyahsejukbeku	120



SINGKATAN

ANOVA	Analisis of Varians
CaCl ₂	Kalsium Klorida
Ca(OH) ₂	Kalsium Hidroksida
EC	European Community
<i>E. cottonii</i>	<i>Eucheuma cottonii</i>
FDA	Food and Drug Administration
FT	Freeze-Thaw
FTS	Freeze Thaw Stability
GRAS	Generally Recognized As Safe
KCl	Kalium Klorida
KOH	Kalium Hidroksida
KST	Karaginan Separa Tulen
NaCl	Natrium Klorida
SPSS	Statistical Package for Social Sciences
SRL	Serbuk Rumpai Laut
SSMP	Sekolah Sains Makanan dan Pemakanan
USDA	United State Department of Agriculture
WHC	Water Holding Capacity
3,6AG	3,6-anhidro-D-galaktosa



SIMBOL

κ -	<i>kappa</i>
ι -	<i>iota</i>
λ -	<i>lambda</i>
μ -	<i>mu</i>
ν -	<i>nu</i>
α -	<i>alfa</i>
β -	<i>beta</i>
γ -	<i>gamma</i>
$^{\circ}\text{C}$	Darjah celsies
M	Molar
N	Newton
%	Peratus
b/b	Berat per berat
m	Meter
mm	Milimeter
mm/min	Milimeter per minit
cm	Centimeter
ml	Mililiter
kDa	Kilo dalton
rpm	Pusingan (Round) per minit
W	Jumlah berat akhir gel
W_0	Jumlah berat awal gel
\pm	Tambah tolak
<	Kurang daripada
>	Lebih daripada



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Pengenalan

Rumpai laut yang dikenali sebagai makroalga marin dikategorikan kepada 3 kumpulan besar berdasarkan pigmennya, iaitu perang (*Phaeophyceae*), merah (*Rhodophyceae*) dan hijau (*Chlorophyceae*) (FAO, 2003). Rumpai laut mempunyai beberapa kegunaan kepada kehidupan seharian manusia. Manusia telah menggunakan rumpai laut sebagai makanan sejak berkurun-kurun lama dan menyedari bahawa beberapa rumpai laut terutamanya alga merah dan alga perang boleh dijadikan sebahagian daripada diet (Ahmad, 1995). Kini, terdapat 240 jenis spesis rumpai laut di Malaysia yang secara tradisinya digunakan sebagai sumber makanan, ubat dan bahan kimia dalam industri (Ong & Gong, 2001).

Rumpai laut mempunyai bahagian dinding yang mengandungi rangkaian polisakarida yang disifatkan sebagai hidrokoloid dan akan tersebar dalam air untuk membentuk larutan yang pekat (McHugh, 1991). Terdapat beberapa jenis hidrokoloid yang terdapat dalam rumpai laut bergantung kepada divisi masing-masing seperti agar, alginat dan karaginan (FAO, 2003). Semua rumpai laut yang menghasilkan karaginan sebagai bahan sel dinding dikategorikan kepada alga merah atau Rhodophyta (Roberts & Quemener, 1999) seperti *Chondrus* (*Irish Moss*), *Eucheuma*, *Hypnea* dan *Gigartina* (Ahmad, 1995).



Karaginan telah digunakan sebagai agen pemekat dan agen penstabil pada beberapa ratus tahun yang lalu di Eropah. Pada abad ke-19, *Irish moss* telah digunakan dalam industri penyaringan bir. Akibat itu, penghasilan secara komersial bermula pada tahun 1930 di Amerika Syarikat. Pada masa itu juga, perdagangan makanan rumpai laut kering telah berubah kepada karaginan tulen (Vandamme, Pebaeks & Steinbuchel, 2002). Kini, karaginan ini digunakan dengan meluasnya sebagai agen penstabil dalam aiskrim, sirap, ubat batuk, minuman keras dan hasil tenuku. Di samping itu, karaginan juga digunakan untuk membaiki tekstur roti dan sup (Ahmad, 1995).

Karaginan ialah polisakarida yang bersulfat yang diekstrak daripada rumpai laut merah (Molina Ortiz, Puppo, & Wagner, 2004). Semua karaginan ini berkongsi perubahan penyusunan α -(1→3) dan β -(1→4) yang mengikat pada residu D-galaktosa, tetapi berbeza pada darjah pengesteran dan kandungan 3,6-anhidro-D-galaktosa (3,6AG) (Glicksman, 1969). Dengan kehadiran kumpulan sulfat, karaginan mempunyai ciri-ciri elektrolit yang kuat dan diklasifikasikan kepada 3 jenis: *kappa* (κ -), *iota* (ι -) dan *lambda* (λ -) karaginan menurut bilangan (satu, dua, tiga) kumpulan sulfat per unit ulangan disakarida masing-masing (Molina Ortiz, Puppo & Wagner, 2004).

Kini, rumpai laut yang digunakan untuk penghasilan karaginan secara komersial adalah daripada spesis *Kappaphycus alvarezii* yang dinamakan sebagai ‘cottonii’ dan *Eucheuma denticulatum* pula dinamakan sebagai ‘spinosum’ (Rudolph, 2000). Karaginan yang dihasilkan tidak 100% tulen tetapi mengandungi campuran ketiga-tiga jenis karaginan (Harding *et al.*, 1997). Namun, rumpai laut tropika *kappaphycus alvarezii* menyumbangkan κ -karaginan yang homogen setelah melalui rawatan alkali (Vandamme, Pebaeks & Steinbuchel, 2002) dan hanya mempunyai kandungan ι - dan λ -karaginan dalam peratusan yang kecil sahaja (Harding *et al.*, 1997). Struktur utama κ -karaginan

adalah bergantung kepada turutan unit ulangan disakarida α -(1-3)-D-galaktosa-4-sulfat dan β -(1-4) 3,6-anhidro-D-galaktosa (Glicksman, 1969).

κ -Karaginan mempunyai ciri-ciri gel seperti kebolehlarutan dalam air panas yang lebih tinggi daripada 60°C, membentuk gel yang rapuh dan berbalik terma (*termoreversible*) (Glicksman, 1969). Di samping itu, kekuatan gel yang berbeza akan terbentuk akibat daripada penambahan kation yang berlainan pada kepekatan yang berbeza (Stanley, 1990). Gel κ -karaginan paling kuat boleh diperolehi dengan penambahan kation kalium (Glicksman, 1969). Kebolehan karaginan membentuk gel menyebabkannya digunakan secara meluas dalam industri penyediaan makanan sebagai agen pembentuk gel, penambah kelikatan, agen penstabil dan agen pengelmusi (Morris & Belton, 1982).

Ion-ion merupakan bahan tambahan dalam makanan yang biasa wujud dalam bentuk garam. Garam ini berfungsi sebagai nutrien dalam badan manusia (Rurdock, 1997) dan dipercayai juga berfungsi sebagai bahan pemekat dan penstabil yang membantu dalam pemekatan makanan. Penambahan garam seperti natrium klorida (NaCl), kalium klorida (KCl) dan kalsium klorida (CaCl₂) pada kepekatan tertentu akan meningkatkan kekuatan gel κ -karaginan dengan memperbaiki susunan konformasinya (Lai, Wong & Lii, 2000). Ion-ion positif ini akan mengikat kepada struktur heliks κ -karaginan dan menggalakkan pembentukan lingkaran heliks serta gel pada kepekatan yang rendah (Mckenna, 2003). Jenis-jenis ion yang digunakan ini akan memberikan kesan yang berbeza terhadap ciri-ciri pengelan. Oleh itu, kajian dan pengetahuan yang lebih banyak diperlukan untuk mengaplikasikan kelebihan ion-ion ini dalam karaginan (Hermansson, Eriksson & Jordansson, 1991).



Dalam kajian ini, serbuk karaginan separa tulen (KST) *E. cottonii* dan serbuk rumpai laut (SRL) *E. cottonii* akan dihasilkan. Serbuk rumpai laut *E. Cottonii* digunakan kerana kajian lepas mendapati bahawa rumpai laut jenis ini mempunyai keupayaan pengelan walaupun tanpa pengekstrakan. Serbuk KST dihasilkan melalui pengekstrakan dengan menggunakan larutan alkali kalium hidroksida (KOH) (Normah & Nazarifah, 2003) manakala SRL daripada rumpai laut *E. Cottonii* yang dikeringkan. Larutan natrium klorida, kalium klorida dan kalsium klorida pada kepekatan garam yang tertentu disediakan dan kesan terhadap ciri-ciri pengelan karaginan akan dikajikan. Beberapa ujian fizikal seperti ujian penembusan, sineresis, kapasiti mengikat air dan kestabilan sejukbeku-nyahsejukbeku akan dilakukan untuk mengkaji ciri-ciri pengelannya.

Kepentingan kajian ini adalah untuk mengetahui ciri-ciri pengelan serbuk rumpai laut *E. Cottonii* dengan kehadiran ion-ion K^+ , Na^+ dan Ca^{2+} . Ini disebabkan formulasi pemprosesan makanan yang kompleks melibatkan penambahan bahan ramuan bersamaan ion akan mempengaruhi mekanisme pengelan. Di samping itu, kehadiran komponen-komponen lain dalam sistem pemprosesan makanan juga mempunyai kesan yang kuat terhadap pembentukan struktur gel karaginan. Sebagai contoh, 65% sukrosa akan melarutkan karaginan (Glicksman, 1983) manakala suhu peralihan pintalan dan heliks (*coil to helix*) bertambah dari 22-55°C dengan peningkatan kepekatan sorbitol dan gliserol (Ramakrishnan & Prud'homme, 2000). Selain itu, kandungan nutrien seperti protein dan lipid (Bixler & Johndro, 2000) dalam SRL tanpa pengekstrakan adalah jauh lebih tinggi berbanding dengan karaginan. Oleh itu, diharapkan SRL juga boleh ditambahkan ke dalam makanan seperti karaginan yang berfungsi sebagai agen pengelan, penstabil dan pemekat dalam kuantiti yang sedikit sahaja (Sekkal et al. 1993).

Ujian fizikal seperti yang dinyatakan dilakukan kerana gel makanan merupakan ciri penting dalam kebanyakan produk makanan dari segi pengendaliannya dan kualiti memakan. Hal ini demikian kerana kebanyakan karaginan digunakan untuk pengeluaran produk harian seperti produk jel, desert dan pembasuh mulut, yogurt, koko dan aiskrim (Hinrichs, Gotz & Weisser, 2003). Di samping itu, gel makanan juga akan menentukan struktur penerimaan terhadap produk yang terhasil.

1.2 Objektif kajian

Objektif kajian ialah:

1. Membandingkan ciri-ciri pengelan gel rumpai laut dan KST *E. Cottonii* melalui ujian penembusan, sineresis, kapasiti mengikat air dan kestabilan sejukbeku-nyahsejukbekuan.
2. Mengkaji dan membandingkan kesan penambahan kation monovalen kalium (K^+) dan natrium (Na^+) pada kepekatan yang berbeza terhadap ciri-ciri pengelan rumpai laut *E. cottonii*.
3. Mengkaji dan membandingkan kesan kation divalen kalsium (Ca^{2+}) pada kepekatan yang berlainan terhadap ciri-ciri pengelan rumpai laut *E. cottonii*.
4. Membandingkan kesan penambahan ion-ion Na^+ , K^+ dan Ca^{2+} pada SRL dengan SRL kawalan dan KST.



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BAB 2

ULASAN KEPUSTAKAAN

2.1 Rumpai laut

Laut kaya dengan kehidupan tumbuhan dan sebahagian daripada sumber ini telah dieksplotasi pada beberapa tahun yang lalu sehingga sekarang (Chapman & Chapman, 1980). Salah satu sumber laut yang banyak digunakan adalah rumpai laut. Rumpai laut merupakan tumbuhan ringkas yang dikenali sebagai alga (Normah & Nazarifah, 2003), iaitu tumbuhan yang tumbuh dalam air segar atau air laut (Rothman, 2001). Tumpuan manusia terhadap rumpai laut ini sebagai sumber makanan utama dan dalam industri kimia semakin penting dan meningkat pada hari ini.

Rumpai laut mempunyai beberapa kegunaan kepada manusia (Ahmad, 1995). Dalam kebanyakan keadaan, rumpai laut dijadikan makanan kepada manusia dan haiwan kerana kandungan mineralnya dan ciri-ciri fungsi polisakarida tersebut (Fleurence, 1999). Manusia telah menggunakan rumpai laut sebagai makanan seperti alga merah dan alga perang sejak berkurun-kurun dan menyedari bahawa rumpai laut ini boleh dijadikan sebahagian daripada makanan (Ahmad, 1995). Namun, cara memakannya adalah berbeza-beza bergantung kepada kebudayaan masing-masing. Di Malaysia, terdapat beberapa spesis *Caulerpa* dan *Gracilaria* yang dimakan mentah oleh masyarakat Melayu tempatan terutamanya di Pantai Timur Semenanjung Malaysia. Di

Sabah pula, *Eucheuma* merupakan rumpai laut yang sangat digemari oleh masyarakat tempatan (Ahmad, 1995).

Rumpai laut diklasifikasikan kepada tiga kumpulan berdasarkan warnanya seperti perang, merah dan hijau. Ahli-ahli botani menamakan kumpulan tersebut sebagai *Phaeophyceae*, *Rhodophyceae* dan *Chlorophyceae* (Infofish, 2002). Pada umumnya, kumpulan *Phaeophyceae* merujuk kepada rumpai laut berwarna perang kerana pigmen perang yang dominan, fukoxantin memantulkan cahaya kuning. Kombinasi pigmen klorofil, emas dan fukoxantin ini menyebabkan alga perang mempunyai julat warna dari hijau muda atau emas ke perang tua (Druehl, 2000). Alga perang ini mempunyai saiz yang besar yang berjulat dari raksasa 20 m panjang sehingga sederhana iaitu 2-4 m, manakala saiz yang paling kecil adalah 30-60 cm panjang (McHugh, 2003).

Rumpai laut merah (*Rhodophyceae*) biasanya adalah kecil, umumnya berjulat dari beberapa sentimeter kepada satu meter panjang (FAO, 2003). Pigmen merah, fikoeritin merupakan pigmen yang dominan dalam divisi *Rhodophya* berbanding pigmen yang lain (Hashim & Chu, 2004). Walau bagaimanapun, rumpai laut merah ini tidak semestinya merah tetapi mungkin juga berwarna ungu dan merah keperangan. Namun ahli botani masih mengkategorikannya sebagai kumpulan *Rhodophya* kerana ciri-ciri tertentu (FAO, 2003).

Rumpai laut daripada divisi *Chlorophyceae* dikenali sebagai alga hijau. Warna hijau alga ini adalah disebabkan oleh kehadiran klorofil a dan b yang lebih banyak daripada pigmen lain (Hashim & Chu, 2004). Alga dari divisi ini biasanya tumbuh di air tawar atau air cetek yang berhampiran dengan daratan kerana tahap ketahanan yang



Rujukan

- Ahmad Ismail. 1995. *Rumpai Laut Malaysia*. Kuala Lumpur. Dewan bahasa dan pustaka.
- Aichinger, P-A., Michel, M., Servais, C., Dillmann, M-L., Rouvet, M., D'Amico, N., Zink, R., Klostermeyer, H. & Horne, D.S. 2003. Fermentation of a skim milk concentrate with *Streptococcus thermophilus* and chymosin: structure, viscoelasticity and syneresis of gels. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. **31**: 243-255.
- Ainsworth, P. A. & Blanshard, J. M. 1979. The effect of heat processing on the structure and rheological properties of carrageenan gels. *Journal of Food Technology*. **14**:141-147.
- Aslan, I.L.M. 1991. *Budidaya Rumpai Laut*. Jakarta. Penerbit Knisius.
- Angkono, N., Rosli, M. A. & Matanjun, P. 2001. Kajian awal komposisi nutrien beberapa rumpai laut dari Sabah. *Suara Makanan*. **3**: 43-48.
- Baeza, R. I., Carp, D. J., Pérez, O. E. and Pilosof, A. M. R. 2002. κ -Carrageenan-protein interactions: Effect of proteins on polysaccharide gelling and textural properties. *Technology*. **35**:741-747.
- Beckett, S. T. 1995. *Physico-Chemical Aspects of Food Processing*. London. Chapman & Hall.
- Belton, P. S., Wilson, R. H. & Chenery, D. H. 1986. Interaction of group I cations with iota and kappa-carrageenans studied by Fourier transform infrared spectroscopy. *International Journal Biological Macromolecules*. **8**: 247-251.
- Bixler, H.J. & Johndro, K.D. 2000. Philippine Nature Grade or Semi-refined Carrageenan. G.O. Phillips & P.A. Williams (ed.). *Handbook of Hydrocolloids*. Boca Raton, Florida: Woodhead Publishing limited.
- Chapman, V. J. and Chapman, D. J. 1980. *Seaweed and Their Uses 2nd edition*. London. Chapman and Hall.
- Chen, Y., Liao, M. L. & Dunstan, D. E. 2002. The rheology of K^+ - κ -carraageenan as a weak gel. *Carbohydrate Polymers*. **50**: 109-116.

- Chopin, T. & Whalen, E. 1993. A new and rapid method for carrageenan identification by FTIR diffuse reflectance spectroscopy directly on dried, ground algal material. *Carbohydrate Research.* **246:** 51-59.
- Chronakis, I. S., Borgström, J. & Piculell, L. 1999. Conformation and association of *k*-carrageenan in the presence of locust bean gum in mixed NaI: CsI solutions from rheology and cryo-TEM. *International Journal of Biological Macromolecules.* **25:** 317-328.
- Chronakis, I. S., Piculell, L. & Borgström, J. 1997. Rheology of kappa-carrageenan in mixtures of sodium and cesium iodine: two types of gels. *Carbohydrate Polymers.* **31:** 215-225.
- Correa-Díaz, F., Aguilar-Rosas, R. & Aguilar-Rosas, L. E. 1990. Infrared analysis of eleven carrageenophytes from Baja California, Mexico. *Hydrobiologia.* **204/205:** 609-614.
- De Ruiter, G. A. & Rudolph, B. 1997. Carrageenan biotechnology. *Trends in Food Science & Technology.* **8:** 389-395.
- Doty, M.S. 1986. The production and use of *Eucheuma*. M.S. Doty, J.F. Caddy & B. Santelice(ed). *Food and Agricultural Organization Fisheries Technical Paper.* **281.** United Ntion. Rome. 123-164.
- Draget, K. I., Gåserød, Aune, I., Andersen, P. O., Storbakken, B., Stokke, B. T. & Smidsrød, O. 2001. Effect of molecular weight and elastic segment flexibility on syneresis in Ca-alginate gels. *Food Hydrocolloids.* **15:** 485-490.
- Drohan, D., Tziboula, A., Mc Nulty, D. & Horne, D. S. 1997. Milk protein-carrageenan interactions. *Food Hydrocolloids.* **11:**101-107.
- Druehl, L., 2000. *Pacific Seaweeds*. Harbour Publishing, Madeira Park, B.C., Canada.
- Falshaw, R., Bixler, H.J. & Johndro, K. 2001. Structure and performance of commercial kappa-2 carrageenan extracts I. Structure analysis. *Food Hydrocolloids* **15:** 441-452.
- FAO Fisheries Technical Paper 441. 2003. *A Guide to The Seaweed Industry*. Italy. Publishing Management Service.

- Fennema, R. 1996. Food Chemistry 3rd edition. Marcel Dekker. New York.
- Fleurence, J. 1999. Seaweed proteins: biochemical, nutritional aspects and potential uses. *Trends in Food Science & Technology*. **10**: 25-28.
- Giese, J. 1992. Developing low-fat meat products. *Food Technology*. **4**: 100-108.
- Glicksman, M. 1969. *Gum Technology in The Food Industry*. New York. Academic Press.
- Glicksman, M. 1982. *Food Hyrocolloids Volume I*. New York. CRC Press.
- Glicksman, M. 1983. *Food Hyrocolloids Volume II*. Baton Rouge. CRC Press.
- Gunning, A. P., Cairnsa, P., Kirby, A. R., Round, A. N., Bixler, H. J. & Morris, V. J. 1998. Characterising semi-refined *iota*-carrageenan networks by atomic force microscopy. *Carbohydrate Polymers*. **36**: 67-72.
- Hamdzah, A. R. 1986. Hidrokoloid dalam pemformulaan makanan. *Teknologi makanan*. **5**(1): 67-70.
- Harding, S. E., Day, K., Dhami, R. & Lowe, P. M. 1997. Further observations on the size, shape and hydration of *kappa*-carrageenan in dilute solution. *Carbohydrate polymers*. **32**: 81-87.
- Hashim, M. A & Chu, K. H., 2004. Biosorption of cadmium by brown, green and red seaweeds. *Chemical Engineering Journal*. **97**: 249-255.
- Hermansson, A-M. 1989. Rheological and microstructural evidence for transient states during gelation of *kappa*-carrageenan in the presence of potassium. *Carbohydrate Polymers*. **10**: 163-181.
- Hermansson, A-M., Eriksson, E. & Jordansson, E. 1991. Effects of potassium, sodium and calcium on the microstructure and rheological behaviour of *kappa*-carrageenan gels. *Carbohydrate Polymers*. **16**: 297-320.
- Hinrichs, R., Gotz, J. & Weisser, H. 2003. Water-holding capacity and structure of hydrocolloid-gels, WPC-gels and yogurts characterised by means of NMR. *Food Chemistry*. **82**: 155-160.

- Hoffmann, R. A., Russell, A. R., Gidley, M. J. 1996. Molecular Weight Distribution of Carrageenan: Charaterisation of Commercial Stabilizers and Effect of Cation Depletion on Depolymerisation. Philips, G. O., Williams, P. J., Wedlock, D.J. (ed.). *Gum and Stabilizers for the Food Industry 8*. London. Oxford University Press.
- Huang, Y.Q., Tang, J.M., Swanson, B. G. & Rasco, B. A. 2003. Effect of calcium concentration on textural properties of high and low acyl mixed gellan gels. *Carbohydrate Polymers*. **54**: 517-522.
- Huffman, F.G. & Shah, Z.C. 1995. Carrageenans: Uses in food and other industries. *Nutrition Today*. **30**: 246-253.
- Imeson, A.P. 2000. Carrageenan. G.O. Phillips & P.A. Williams (ed.). *Handbook of Hydrocolloids*. Boca Raton, Florida: Woodhead Publishing limited.
- Infofish Industri rumpailaut- suatu tinjauan*. Vol.12. No.3. Julai-Sept, 2002.
- Ipsen, R. 1997. Uniaxial compression of gels made from protein and κ -carrageenan. *Journal of Texture Studies*. **28**: 405-419.
- Lai, V.M.F., Wong, P.A.-L. & Lii, C.-Y. 2000. Effects of cation properties on sol-gel transition and gel properties of κ -carrageenan. *Journal of Food Science*. **65**(8): 1332-1337.
- Langendoff, V., Cuvelier, G., Michon, C., Launay, B., Parker, A. & De Kruif, C.G. 2000. Effects of carrageenan type on the behaviour of carrageenan/milk mixtures. *Food Hydrocolloids*. **14**: 273-280.
- Lee, M. H., Baek, M. H., Cha, P. S., Park, H. J. & Lim, S. T. 2002. Freeze-Thaw Stabilization of sweet potato starch gel by polysaccharides gums. *Food Hydrocolloid*. **16**: 345-352.
- MacArtain, P., Jacquier, J.C. & Dawson, K.A. 2003. Physical characteristics of calcium induced κ -carrageenan networks. *Carbohydrate Polymers*. **53**: 395-400.
- Mao, R., Tang, J. & Swanson, B. G. 2001. Water Holding Capasity and microstructure of gellan gels. *Carbohydrate Polymers*. **46**: 365-371.

- Marcelo, G., Saiz, E. & Tarazona, M. P. 2005. Unperturbed dimensions of carrageenans in different salt solutions. *Biophysical Chemistry*. **113**: 201-208.
- Marine Botanicals. 2003. Agronomy, biology and crop-handling of *Betaehyicus*, *Eucheuma* and *Kappaphycus the gelatinae*, *Spinosum* and *cottonii* of commerce, Malaysia.
<http://www.surielink.com/mb/monograph.html>
- McHugh, D. 1991. Industri rumpai laut - suatu tinjauan. *Infofish*. **12**(3).
- McHugh, D.J. 2003. *A Guide to The Seaweed Industry*. FAO Fisheries Technical Paper. No. 441. Rome.
- Mckenna, B. M. 2003. *Texture in Food. Volume I: Semi-solid Foods*. USA. Woodhead Publishing Ltd.
- Michon, C., Vigouroux, F., Boulenguer, P., Cuvelier, G., Launay, B. 2000. Gelatin/*iota* carrageenan interactions in non-gelling conditions. *Journal of Food Hydrocolloids*. **14**: 203-208.
- Molina Ortiz, S. E., Puppo, M. C. & Wagner, J. R. 2004. Relationship between structural changes and functional properties of soy protein isolates–carrageenan systems. *Food Hydrocolloids*. **18**: 1045–1053.
- Montero, P. & Pérez-Mateos, M. 2000. Contribution of hydrocolloids to gelling properties of blue whiting muscle. *Europe Food Research Technology*. **210**: 383-390.
- Montero, P. & Pérez-Mateos, M. 2002. Effects of Na^+ , K^+ and Ca^{2+} on gels formed from fish mince containing a carrageenan or alginate. *Food Hydrocolloid*. **16**: 375-385.
- Morris, V. J. & Belton, P. S. 1982. The influence of the cations sodium, potassium and calcium on the gelation of *iota*-carrageenan. *Program food nutrition science*. **6**: 55-66.
- Morris, V. J & Chilvers, G. R. 1983. Rheological studies of specific cation forms of kappa-carrageenan gels. *Carbohydrate Polymers*. **3**: 129-141.
- Mouro, C. R., Zykwinska, A., Durand, S., Doublier, J-L. Bonton, A. 2004. NMR investigations of the 4-ethyl guaiacol self-diffusion in *iota* (*i*)-carrageenan gels. *Carbohydrate Polymers*. **57**: 459-468.

- Nishinari, K. & Zhang, H. 2004. Recent advances in the understanding of heat set gelling polysaccharides. *Trends in Food Science & Technology.* **15:** 305-312.
- Normah, O & Nazarifah, I. 2003. Production of semi-refined carrageenan from locally available red seaweed, *Eucheuma cottonii* on a laboratory scale. *Journal Tropical Agriculture and Food Science.* **31(2):** 207 -213.
- Norzhiah, M.H., Foo, S.L. & Karim, A.Abd. 2006. Rheological studies on mixtures of agar (*Gracilaria changii*) and *k*-carrageenan. *Food Hydrocolloids.* **20:** 204–217.
- Omar, R., Ahmad, F. & Lee, K. B. 1989. Intrinsic viscosity study of *k*-carrageenan from *Eucheuma striatum* Var. *cottonii*. *Pertanika.* **12(2):** 211-217.
- Ong, J. E. & Gong, W. K. 2001. The Seas. *The Encyclopedia of Malaysia.* Singapore.
- Piculell, L. 1991. Effects of ions on the disorder-order transitions of gel-forming polysaccharide. *Food Hydrocolloids.* **5:**57-69.
- Prasad, K., Siddhanta, A. K., Rakshit, A. K., Bhattacharya, A. & Ghosh Pushpito, K. 2005. On the properties of agar gel containing ionic and non-ionic surfactants. *International Journal of Biological Macromolecules.* **35:** 135–144.
- Ramakrishnan, S. & Prud'homme, R.K. 2000. Behavior of *k*-carrageenan in glycerol and sorbitol solution. *Carbohydrate polymers.* **43:** 327-332.
- Reid, D. S. 1978. The Interaction of Ions With Gelling Polysaccharides. Everett, D. H. & Vincent, B. (ed). *Ions in Macromolecular and Biological System.* Baltimore. University park press.
- Renn, D.W. 1990. Seaweed and biotechnology-inseparable companions. *Hydrobiologia.* **204/205:** 7-13.
- Richardson, RK. & Goycoolea, FM. 1994. Rheological measurement of *k*-carrageenan during gelation. *Carbohydrate polymers.* **24:** 223-225.
- Roberts, M. A. & Quemener, B. 1999. Measurement of carrageenans in food: challenges, progress and trends in analysis. *Trends in Food Science & Technology.* **10:** 169-181.

- Rochas, C., Rinaudo, M. & Landry, S. 1989. Relation between the molecular structure and mechanical properties of carrageenan gels. *Carbohydrate Polymers*. **10**: 115-127.
- Rotbart, M., Neeman, A., Nussinovitch, A., Kopelman, I. J. & Cogan, U. 1988. The extraction of carrageenan and its effect on the gel texture. *International Journal of Food Science and Technology*. **23**: 591-599.
- Rothman, M., 2001. What are seaweed/algae?, South Africa.
<http://www.botany.Uwc.ac.za/algae.html>
- Rudolph, B., 2000. *Seaweed Products: Red Algae of Economic Significance*. Lancaster. Technomic Publishing Company INC.
- Rurdock, G. A. 1997. *Encyclopedia of Food and Color Additive*. CRC Press, Inc.
- Sekkal, M., Legrand, P., Huvenne, J.P. & Verdus, M.C. 1993. The use of FTIR microspectrometry as a new tool for the identification *in-situ* of polygalactananes in red seaweeds. *Journal of Molecular Structure*. **294**: 227-230.
- Semenova, M. G., Plashchina, I.G., Braudo & Tolstoguzov, V. B. 1988. Structure formation in sodium κ -carrageenan solution. *Carbohydrate Polymers*. **9**: 133-145.
- Shand, P.J., Sofos, J.N. & Schmidt, G.R. 1994. Differential scanning calorimetry of beef/ κ -carrageenan mixtures. *Journal of Food Science*. **59**(4): 711-715.
- Skják-Bræk, G., Grasdalen, H. & Smidrød, O. 1989. Inhomogeneous polysaccharide ionic gels. *Carbohydrate polymers*. **52**: 143-150.
- Staley, N. 1987. Production, properties and uses of carrageenan. D.J. McHugh (ed.). *Food and Agricultural Organization Fisheries Technical Paper* **288**. United Nation. Rome.
- Stanley, N. F. 1990. Carrageenans. P. Harris (ed.). *Food Gel*. London. Elsevier Applied Food Science Series.
- Tako, M. & Nakamura, S. 1986. Indicative evidence for a conformational transition in κ -carrageenan from studies of viscosity-shear rate dependence. *Carbohydrate Polymers*. **155**: 200-205.

- Tang, J.M., Tung, M.A. & Zeng, Y.Y. 1995. Mechanical properties of gellan gels in relation to divalent cations. *Journal of Food Science*. **60**(4): 748-752.
- Therkelsen, G. H. 1993. Carrageenan. Whistler, R. L., BeMiller, J. N. (ed.). *Carrageenanin Industrial Gum: Polysaccharides and Their Derivatives*. San Diego, Academic press.
- Thomas, W.R. 1999. Carrageenan. A. Imeson (ed). *Thickening and Gelling Agents for Food, 2nd edition*. London. Blackie Academic and Professional.
- Vandamme, E. J. V., Pebaeks, S. & Steinbuchel, A. 2002. *Biopolymers-polysaccharides from Eukaryotes*. Weinheim. Wiley-Vch GmbH.
- Van de Velde, F., Knutsen, S.H., Usov, A.I., Rollema, H.S. & Cerezo, A.S. 2002. ¹H and ¹³C high resolution NMR spectroscopy of carrageenans: application in research and industry. *Trends in Food Science & Technology*. **13**: 73-92.
- Watase, M. & Nishinari, K. 1981. Effect of alkali metal ions on the rheological properties of κ -carrageenan and agarose gels. *Journal of Texture Studies*. **12**: 427-445.
- Watase, M. & Nishinari, K. 1988. The effect of monovalent cations and anions on the rheological properties of kappa-carrageenan gels. *Journal of Texture Studies*. **19**: 259-273.
- Xu, S. Y., Stanley, D. W., Goff, H. D., Davidson, V. J. & Maguer, M. LE. 1992. Hydrocolloid/Milk gel formation and properties. *Journal of Food Science*. **57**(1): 96-102.
- Zabik, M.E & Aldrich, P.J. 1968. Gel strength of kappa-carrageenan as affected by cations. *Journal of Food Science*. **33**: 371-377.
- Zumdahl, S. S. & Zumdahl, S. A. 2000. Chemistry. Houghton Mifflin Company. Boston.