Algae
Volume 17(4): 217-233, 2002

한국산 김속(*Porphyra*) 식물의 식별형질 분석 및 수리분류학적 연구

황미숙* · 이인규[1]

(국립수산과학원 남해수산연구소 목포분소, [1]서울대학교 생명과학부)

Character Analysis and Numerical Taxonomy of *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta) from Korea

Mi Sook Hwang* and In Kyu Lee[1]

Mokpo Lab, South Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, Mokpo 530-140 and
[1]School of Biological Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

Twelve species and two forms of *Porphyra* from Korea were examined in character analysis and numerical taxonomy. Twenty one quantitative and twelve qualitative characters selected, and principal component analysis and cluster analysis were applied for discrimination and determination of the taxa. The maximum length of blade / maximum width of blade, base angle, thickness of blade, presence or absence of oblique division in carposporangium and microscopic denticulation at margin, feature of spermatangial area, prototrichogyne type and sexuality were significant characters for distinguishing taxa in character analysis. The results of numerical taxonomic analysis suggested that *P. okamurae*, *P. suborbiculata* f. *suborbiculata* and *P. suborbiculata* f. *latifolia* should be the same species.

Key Words: character analysis, cluster analysis, Korea, numerical taxonomy, principal component analysis, *Porphyra*

서 론

김속 식물은 예로부터 양식에 이용되어 왔으므로 우리나라에서는 경제적 가치가 가장 큰 해조류이다. 현재까지 국내에서 보고된 김속 식물은 16종 2품종으로서(Okamura 1913; Lee and Kang 1986; Hwang and Lee 1994), 이 중 12종 2품종에 대하여 분류학적 검토(황과 이 2001)와 allozyme 분석에 의한 분류군간 유연관계가 제시된 바 있다(Hwang *et al.* 1998).

김속 식물의 식별형질은 엽체의 세포층 수, 세포당 엽록체 수, 거치상 돌기의 유무, 생식유형, 체형, 색깔, 엽체의 두께, 수정모의 특징, 과포자낭 분열 시 사면분열의 유무 등이 제시되었다(Kurogi 1972; Miura 1988). 그러나 체형이 단순하고 형태적인 변이가 심하여 형태 · 해부학적 식별형질을 비교하는 것만으로 종을 인식하는 데는 어려움이 많다. 따라서 각 분류군의 독립성이나 한계를 규명하기 위해서는 수리분류학적 접근방법을 이용할 필요가 있다. 수리분류학적 연구는 가능한 많은 정량 · 정성 형질을 선택하여 형질상태를 구체적으로 기재, 측정하고 정해진 수리적 과정에 따라 개체들의 특성을 비교함으로써(Sneath and Sokal 1973; Steussy 1990), 형태적으로 변이가 심한 분류군의 분류학적 문제점을 해결하는 데 적용되어 왔다(Russel and Fletcher 1975; Russel and Garbary 1978; Small 1978a,b; Plinski *et al.* 1988; 이와 김 1997; Phipps 1998).

본 연구에서는 한국산 김속 식물을 대상으로 형태 · 해부학적 식별형질과 생태학적 특징을 비교하고 이를 수리분류학적으로 분석하였다. 이 분석결과를 바탕으로 분류군을 식별하는 주요형질의 유용성을 재검토하고 형질의 변이와 폭을 조사하여 각 분류군의 독립성과 범주를 파악하고자 하였다.

*Corresponding author (mishwang@nfrdi.re.kr)

Table 1. Characters used in character analysis and numerical taxonomy of the genus *Porphyra* from Korea. See Fig. 1 for further clarification of character 1 to character 7.

1. Maximum length of blade (cm)
2. (Character 1 - Blade length from holdfast) / Character 1
3. Maximum width of blade (cm)
4. Character 1 / Character 3
5. (Blade width at 1/4 point from holdfast) / (Blade width at 1/2 point from holdfast)
6. (Blade width at 3/4 point from holdfast) / (Blade width at 1/2 point from holdfast)
7. Base angle (degree)
8. Thickness of upper rhizoidal part (m)
9. Width of upper rhizoidal cell in surface view (m)
10. Length of upper rhizoidal cell in surface view (m)
11. Character 10 / Character 9
12. Area of upper rhizoidal cell in surface view (m)
13. Thickness of middle part of blade (m)
14. Character 8 / Character 13
15. Width of vegetative cell of middle part in surface view (m)
16. Length of vegetative cell of middle part in surface view (m)
17. Area of vegetative cell of middle part in surface view (m)
18. Height of vegetative cell of middle part in cross sectional view (m)
19. (Character 13 - Character 18) / Character 13
20. Thickness of carposporangial part (m)
21. Thickness of spermatangial part (m)
22. No. of carpospores in a carposporangium in surface view
23. No. of tiers of carpospores in a carposporangium in cross sectional view
24. No. of spermatangia in a spermatangial packet in surface view
25. No. of tiers of spermatangia in a spermatangial packet in surface view
26. Presence or absence of oblique division in carposporangia (0: absent, 1: present)
27. Prototrichogyne type in carpogonium (0: inconspicuous, 1: conspicuous)
28. Sexuality (0: bisexual, 1: monosexual)
29. Feature of spermatangial area (0: entire, 1: longitudinally halved, 2: marginal, 3: partitioned to form patches of various shapes)
30. Microscopic denticulation at margin (0: absent, 1: present)
31. Marginal undulation (0: absent, 1: present)
32. Substrate type (0: epilithic, 1: epiphytic, 2: epizooic)
33. Growing zone (0: upper, 1: middle, 2: lower intertidal, 3: subtidal)

재료 및 방법

본 연구는 한국의 전 해안에 생육하는 김속(*Porphyra*) 식물을 대상으로 수행하였으며, 잇바디돌김(*P. dentata* Kjellman), 패돌김(*P. ishigecola* Miura), 카타다돌김(*P. katadae* Miura), 비단잎돌김(*P. koreana* Hwang et Lee), 쿠니에다김(*P. kuniedae* Kurogi), 갈래잎돌김(*P. lacerata* Miura), 오카무라돌김(*P. okamurae* Ueda), 긴잎돌김(*P. pseudolinearis* Ueda), 모무늬돌김(*P. seriata* Kjellman), 둥근돌김(*P. suborbiculata* Kjellman f. *suborbiculata*), 넓은둥근돌김(*P. suborbiculata* Kjellman f. *latifolia* Tanaka), 참김(*P. tenera* Kjellman) 및 방사무늬김(*P. yezoensis* Ueda)의 12종 2품종을 포함하였다.

재료는 1990년 3월부터 1994년 3월까지 한국 동, 서, 남해안 및 제주도에서 채집되었으며 현장에서 10% 포르말린 해수용액으로 고정시킨 후 실험실에서 건조표본으로 만들었다. 형태 · 해부학적 특징은 채집된 재료를 부위별로 절편을 제작한 후 광학현미경(Olympus BH-2)을 이용하여 관찰하고 측정하였다.

식별형질의 분석

식별형질의 분석은 채집된 12종 2품종의 212개체를 대상으로 수행하였다(Appendix). 분류군의 형태적 특징을 잘 나타내는 형질, 부착기질, 생육대를 비롯한 총 33개 형질을 이용하였으며, 이 중 21개 형질은 엽체의 외부형태 및 해부학적 특징을 나타내는 정량 형질이고 12개 형질은 정성 형질이다(Table 1).

식별형질은 가능한 한 정량화하였다. 즉, 엽체의 외부형태는 각 분류군을 구분하는 일차적인 형질이므로 이를 구체

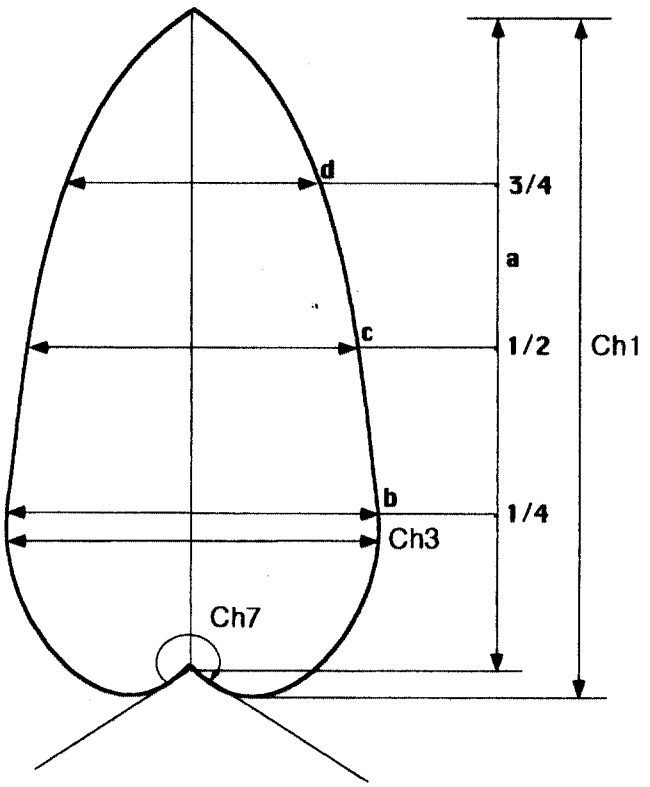

Fig. 1. Diagram showing blade-shape characters of *Porphyra* from Korea. a, blade length from holdfast; b, blade width at 1/4 point from the holdfast; c, blade width at 1/2 point from the holdfast; d, blade width at 3/4 point from the holdfast; Ch1, character 1; Ch3, character 3; Ch7, character 7.

적으로 분석하기 위하여 최대 엽장(형질 1), [최대 엽장 - 부착기로부터의 엽장]과 최대 엽장의 비(형질 2), 최대 엽폭(형질 3), 최대 엽장과 최대 엽폭의 비(형질 4), 그리고 부착기로부터 1/4, 1/2 및 3/4 지점에서의 엽폭의 비(형질 5와 6)로 나누어 측정하였으며, 엽체하부의 형태(형질 7)는 각도로 표시하였다(Fig. 1). 측정 형질 중 가근세포 및 영양세포와 관련된 형질들(형질 8-19)은 개체별로 5개씩 측정한 후 평균값을 사용하였다.

주요 식별형질 중 과포자낭[1]과 정자낭의 분열형식(형질 22-25)은 정량형질이지만 연속적인 값을 갖지 않으므로 정성형질로 취급하였다. 한편, 정량적으로 측정할 수 없는 형질인 과포자낭에서의 사면분열의 유무(형질 26), 수정모의 모양(형질 27), 생식 유형(형질 28), 정자낭반의 유형(형질 29), 거치상 돌기의 유무(형질 30), 엽체 가장자리 파상무늬의 유무(형질 31), 부착기질의 종류(형질 32), 생육대(형질 33) 등은 둘 또는 그 이상의 형질상태로 구분하여 부호화하였다.

분석에 사용된 대부분의 표본은 상기 형질들을 측정할 수 있는 성숙한 개체였다. 그러나 넓은둥근돌김은 암, 수 생식기관이 있는 성숙체가 채집되지 않았으므로 생식 관련 형질을 제외한 23개 형질만을 측정하였다.

수리분류학적 분석

본 연구에서는 OTU(operating taxonomic unit)를 개체로 정하고, 총 212 OTU를 대상으로 33개 형질을 분석하여 얻은 자료를 주성분분석(PCA)과 집괴분석(cluster analysis) 방법으로 검정하였으며, 이를 통하여 각 분류군의 한계, 주요 식별형질의 변이 양상, 그리고 분류군 간의 표현적 유연관계를 밝혔다.

주성분분석에는 SAS 프로그램(Release 6.12)을 사용하였고, 초기 data matrix로부터 correlation matrix를 계산한 후 분석을 진행하였다. 집괴분석에는 NTSYSpc 프로그램(Version 2.02i)을 사용하였고, 각 형질의 측정치를 표준화한 후 OTU간의 average taxonomic distance를 계산하였으며, UPGMA 방법(Sneath and Sokal 1973)으로 유집하여 phenogram을 작성하였다.

결 과

식별형질의 분석

본 연구에 포함된 12종 2품종은 모두 참김아속(subgenus *Porphyra*)에 속한다. 참김아속은 엽체가 한층의 세포로 이루어지는 특징에 의해 두꺼김아속(subgenus *Diploderma*)과 구별되며 세포당 하나의 엽록체가 있는 특징에 의해 쌍별김아속(subgenus *Diplastidia*)과 구별된다.

체형 및 엽체 하부 형태: 김의 체형은 정자낭과 과포자낭이 거의 방출되지 않은 성숙 초기에 개체별로 조사하여 9가지 형태로 구분하였다(Fig. 2; cf. Kurogi 1972). 그러나 종별로 조사했을 때는 다음의 세 가지 형태군으로 구분되었다. 첫째, 원형, 타원형, 난형 또는 도란형으로서 참김, 방사무늬김, 카타다돌김, 오카무라돌김, 갈래잎돌김 및 비단잎돌김이 속하였고, 둘째, 원형, 신장형 또는 깔때기형으로서 둥근돌김, 패돌김, 쿠니에다김 및 모무늬돌김이 속하였으며, 세째, 피침형, 도피침형 또는 선형으로서 잇바디돌김과 긴잎돌김이 속하였다.

김의 체형은 종을 구분하는 일차적인 형질로 취급되어 왔지만 환경 변화에 민감하므로 동종 내에서도 상당한 변이가 나타났다. 동해안에 생육하는 오카무라돌김과 방사무늬김은

[1]Guiry (1990)는 과포자낭(carposporangium) 대신 zygotosporangium을 제안하였음.

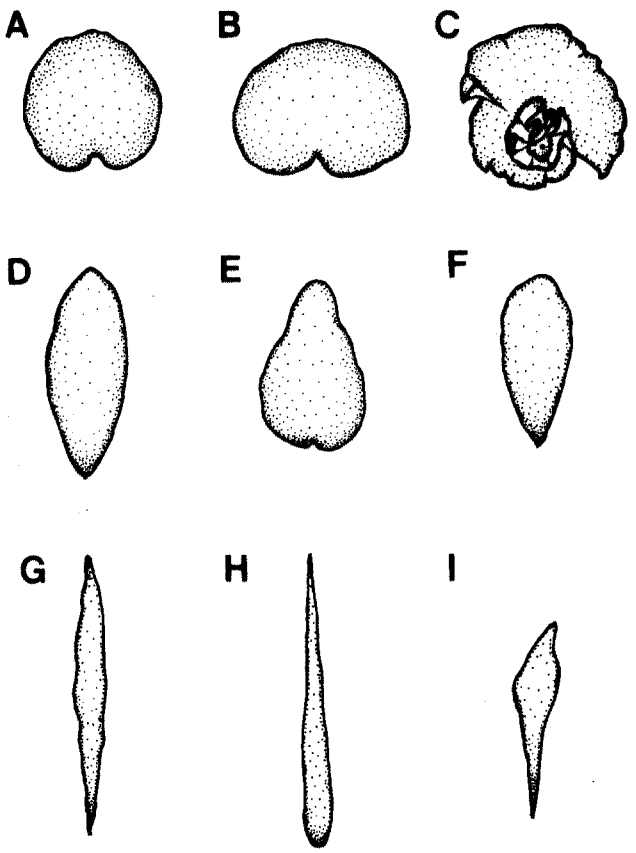

Fig. 2. Blade-shapes of *Porphyra*. A, round; B, reniform; C, funnel-shaped; D, elliptical; E, ovate; F, obovate; G, linear; H, lanceolate; I, oblanceolate.

주로 원형, 난형 또는 도란형이지만 파도의 영향을 많이 받는 생육지에서는 선형 또는 도피침형이었다. 그러나 모무늬돌김의 경우는 환경에 따라 거의 변이가 없는 안정된 체형을 보였다.

엽체는 정자와 과포자가 방출된 후 종에 따라 다소 심한 체형변화가 나타나기도 하였으며, 특히 노성체는 엽체 길이가 짧아지고 폭이 넓어지는 경향을 보였다. 이러한 현상이 극심하게 나타난 종은 긴잎돌김으로서, 특히 암배우체는 성숙초기까지 피침형이지만 과포자낭이 방출되면서 엽체 하부가 넓어졌으며, 거의 모든 과포자낭이 방출된 노성체는 원형 또는 심장형이 되었다. 또한 정자낭과 과포자낭이 엽체의 좌우 반쪽으로 양분되는 카타다돌김은 성숙한 정자낭이 먼저 방출됨으로써 콤마형이 되기도 하였다. 갈래잎돌김의 경우는 생식세포가 형성되기 전까지는 균열이 없는 난형이지만 정자가 방출되면서 엽체의 상부가 심하게 찢어지는 특징을 나타내었다.

엽체 하부의 형태는 대체로 쐐기형, 원형, 심장형, 배꼽형의 4가지 유형으로 구분되었으며(Fig. 3) 체형과 상관관계를 가지는 것으로 판단되었다. 즉, 체형이 원형 또는 난형인 것

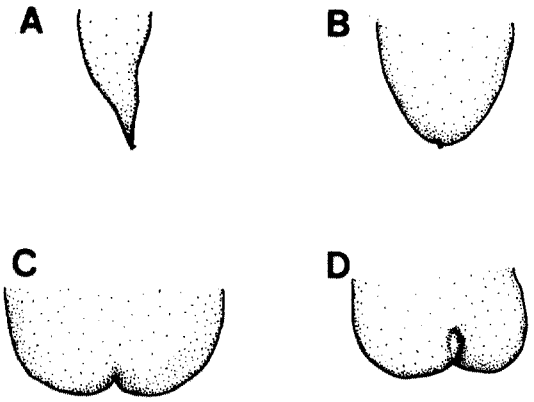

Fig. 3. Basal shapes of *Porphyra*. A, cuneate; B, round; C, cordate; D, umbilicate.

은 하부형태가 원형 또는 심장형이었고, 타원형 또는 도란형인 것은 쐐기형 또는 원형이었다. 신장형 또는 깔때기형인 것은 심장형 또는 배꼽형이었고, 피침형인 것은 쐐기형, 원형 또는 심장형이었으며, 선형 또는 도피침형인 것은 쐐기형을 이루었다.

한편, 엽체 하부의 형태는 생장 정도와 환경에 따라서 상당한 변이를 나타내었다. 즉, 엽체가 노성할수록 심장형 또는 배꼽형으로 변하는 경향이 있었으며, 파도의 영향을 심하게 받는 환경에서는 쐐기형에 가까웠다. 따라서 동일 종이라 하더라도 두가지 유형 이상의 하부 형태를 기본적으로 가지고 있었다. 오카무라돌김의 경우, 어린 개체와 파도의 영향을 심하게 받는 지역의 엽체 하부는 쐐기형인 반면, 파도의 영향을 적게 받는 곳에서 성숙한 개체는 원형 또는 심장형이었다.

체형과 엽체 하부의 형태를 정량적으로 분석하기 위하여, 엽체의 외부 형태는 6개의 형질(형질 1-6)로 구분하였고, 엽체 하부의 형태는 부착기로부터 엽체까지 선을 그어 두 접선의 각도(형질 7)를 측정하였다(Fig. 1). 이들 7개 형질에 대한 분류군내의 변이 폭은 Fig. 4에 나타내었다.

잇바디돌김과 긴잎돌김은 엽장과 엽폭의 비(형질 4)가, 모무늬돌김은 엽체 하부의 각도(형질 7)가 현저하게 컸다.

체색: 김속 식물의 엽체 색깔은 적갈색, 적자색, 적록색, 암록색 또는 선홍색이었다. 조간대에 생육하는 종들은 대체로 적갈색, 적록색 또는 암록색을 띠었고 조하대에 생육하는 종들은 선홍색을 띠었다. 조간대에 생육하는 종들 중에서 적갈색 또는 적자색을 띠는 것은 잇바디돌김, 카타다돌김, 갈래잎돌김, 긴잎돌김, 모무늬돌김, 둥근돌김, 넓은둥근돌김이었고 적록색 또는 암록색을 띠는 것은 패돌김, 쿠니에다김, 오카무라돌김, 참김, 방사무늬김인데, 녹색은 일반적으로 엽체 하부에서 뚜렷하였다. 한편, 조하대에 생육하여 선홍색을

띠는 분류군은 비단잎돌김 한 종이었다.

각 분류군은 기본적으로 고유한 체색의 변이 폭을 나타내고 있으나, 같은 종 내에서도 환경과 생장 정도에 따라서 다르게 나타났다. 즉, 빛이 많이 드는 지역에 생육하는 개체들과 노성체는 고유한 색깔에 비하여 옅어지는 경향을 볼 수 있었다. 따라서 체색은 수리분류학적 분석에는 포함시키지 않았다.

부착기와 가근세포: Hus(1902)는 김속 식물의 부착기를 유조직성 세포로 구성된 쿠션형(cushion-shape)과 가근세포로 구성되어 소원반을 이루는 원반형(discoid-shape)으로 구분하였으며, Fukuhara(1968)는 가근세포가 부착기질 내로 침투하는 침투형(penetrating-type)을 추가하였다. 특히, Fukuhara(1968)는 두켜김아속과 쌍별김아속을 구분할 때 부착기의 구조적 특징이 중요한 식별형질임을 제시하였다. 그러나 Hus(1902)가 제시한 쿠션형을 가진 종은 그 후 부착기의 특징과 몇 가지 형태적 특징을 근거로 *Smithora*속으로 옮겨졌으므로(Hollenberg 1959), 김속의 부착기는 현재 원반형과 침투형의 두 가지로 대별되고 있다.

한국산 김속 식물은 모두 원반형의 부착기를 가지므로 식별형질로는 사용할 수 없었다. Fukuhara(1968)는 카타다돌김의 부착기가 원반형과 침투형의 중간형이라고 하였으나, 한국산 카타다돌김은 전형적인 원반형이었다(황과 이 2001).

가근세포 부위의 엽체 두께, 가근세포의 크기 및 형태는 모든 개체에서 동일하게 상부 가근세포 부위에서 측정하였다. 모무늬돌김은 가근세포 부위의 엽체두께가 두껍고 가근세포의 크기가 현저하게 컸다(Fig. 4; 형질 8, 12). 쿠니에다김과 갈래잎돌김은 가근세포의 길이와 폭의 비에서 높은 값을 나타내었고(Fig. 4; 형질 11), 실제 형태도 길쭉한 유선형이어서 원형 또는 타원형인 다른 분류군들과 구별되었다.

엽체 두께와 영양세포의 크기: 엽체 두께, 한천질의 두께, 표면에서 본 영양세포의 크기와 단면에서의 높이는 모든 개체에서 동일하게 엽체의 중부에서 측정하였다. 잇바디돌김과 긴잎돌김은 엽체 두께가 두꺼운 반면, 비단잎돌김, 쿠니에다김 및 갈래잎돌김은 현저히 얇았다(Fig. 4; 형질 13). 엽체 두께에서 영양세포의 높이를 제외한 한천질의 두께를 전체 엽체 두께에 대한 비율로 나타내었을 때, 각 분류군내에서 변이의 폭은 대체로 컸으나 평균값은 비단잎돌김, 갈래잎돌김 및 참김에서 낮았다(Fig. 4; 형질 19).

한편, 김속 식물은 엽체가 가근세포 부위로부터 엽체 중부에 이르면서 점차 얇아지는 경향이 있는데, 모무늬돌김에서 그 정도가 가장 심하였고 잇바디돌김에서 가장 약하였다(Fig. 4; 형질 14).

엽체표면에서 세포의 길이는 분류군 간에 뚜렷한 차이가 없었으나, 세포면적에서는 잇바디돌김, 패돌김, 비단잎돌김, 긴잎돌김, 참김과 방사무늬김이 비교적 넓었으며 쿠니에다김과 넓은둥근돌김이 가장 좁았다(Fig. 4; 형질 17). 잇바디돌김과 긴잎돌김은 횡단면에서 세포 높이가 높았고 비단잎돌김, 쿠니에다김과 갈래잎돌김은 낮았다(Fig. 4; 형질 18).

정자낭과 과포자낭 부위의 엽체 두께: 과포자낭과 정자낭 부위는 엽체가 두꺼울수록 일반적으로 더 두꺼워지는 경향을 나타내었다. 잇바디돌김, 카타다돌김, 긴잎돌김과 모무늬돌김은 과포자낭 부위가 상대적으로 두꺼운 반면, 비단잎돌김, 쿠니에다김과 갈래잎돌김은 얇았다(Fig. 4; 형질 20). 또한 잇바디돌김, 긴잎돌김과 모무늬돌김은 정자낭 부위가 두꺼운 반면, 비단잎돌김, 쿠니에다김과 갈래잎돌김은 얇았으며 방사무늬김은 변이의 폭이 컸다(Fig. 4; 형질 21).

정자낭과 과포자낭의 분열양식: 정자낭과 과포자낭의 분열양식은 Hus(1902)가 식별형질로 제안한 이래 Ueda (1932), Tanaka(1952), Tseng and Chang(1958), Kurogi (1972), Miura(1988) 등의 연구자들이 종을 구분하는 주요한 형질로 인식하여 왔다.

한국산 식물을 대상으로 조사한 결과, 정자낭의 분열양식은 엽체표면에서 8(a/4, b/2) 또는 16(a/4, b/4)이고, 횡단면에서 4, 8 또는 16층으로서, 엽체표면과 횡단면을 조합할 때 32(a/4, b/2, c/4), 64(a/4, b/4, c/4), 64(a/4, b/2, c/8), 128(a/4, b/4, c/8) 및 256(a/4, b/4, c/16)의 5가지 분열양식이 관찰되었으나, 수리분류학적 분석 대상의 개체들에서는 256(a/4, b/4, c/16)의 분열양식은 나타나지 않았다(Fig. 4; 형질 24, 25, Fig. 5).

과포자낭의 분열양식은 엽체표면에서 2(a/2, b/1), 4(a/2, b/2) 또는 8(a/4, b/2)이고, 횡단면에서 2 또는 4층으로서, 이를 조합할 때 4(a/2, b/1, c/2), 8(a/2, b/2, c/2), 16(a/2, b/2, c/4), 16(a/4, b/2, c/2), 32(a/4, b/2, c/4) 등 5가지 분열양식이 관찰되었으나, 8(a/2, b/1, c/4)의 분열양식은 관찰할 수 없었다(Fig. 4; 형질 22, 23, Fig. 5).

정자낭과 과포자낭의 분열양식은 엽체의 성숙 단계에 따라 다르므로 충분히 성숙한 개체를 대상으로 관찰하였다. 그러나 성숙한 개체를 관찰한 경우에도 개체변이가 컸으며 개체내 동일 현미경 시야에서도 분열양식이 한 가지 이상으로 나타나는 경우가 많았다. 따라서 본 연구에서는 Kurogi (1972)의 제안을 받아들여 최대 분열상태를 그 개체의 분열양식으로 결정하였다.

단면에서 본 정자낭과 과포자낭의 분열층 수에 대하여 Kurogi(1961, 1972)는 엽체가 두꺼울수록, 노성체일수록, 영양염이 많은 생육 환경일수록 증가한다고 하였다. 한편

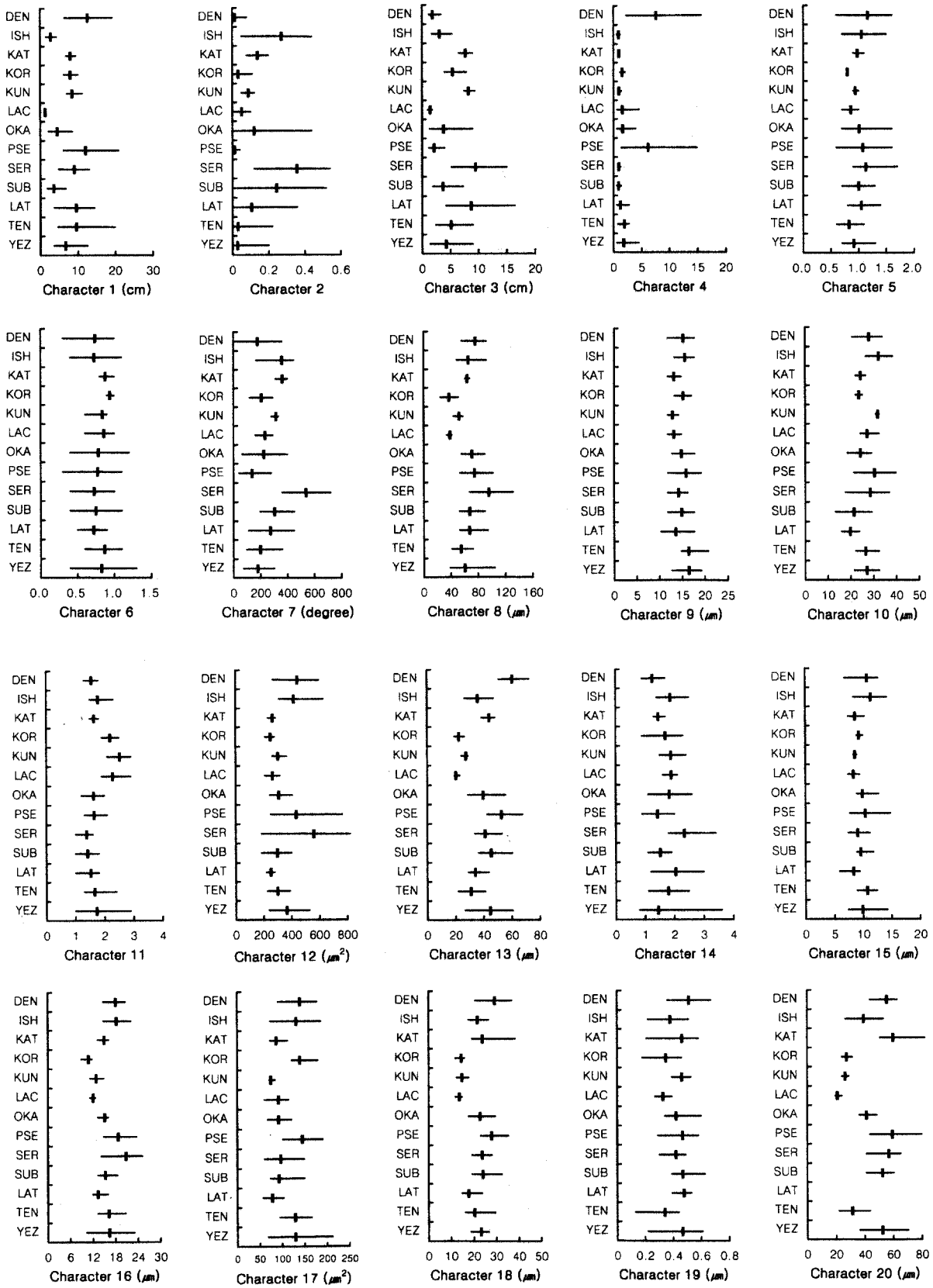

Fig. 4. Twenty-one quantitative and twelve qualitative characters for the members of 13 taxa of *Porphyra*. Character numbers correspond to those in Table 1. DEN, *P. dentata*; ISH, *P. ishigecola*; KAT, *P. katadae*; KOR, *P. koreana*; KUN, *P. kuniedae*; LAC, *P. lacerata*; OKA, *P. okamurae*; PSE, *P. pseudolinearis*; SER, *P. seriata*; SUB, *P. suborbiculata* f. *suborbiculata*; LAT, *P. suborbiculata* f. *latifolia*; TEN, *P. tenera*; YEZ, *P. yezoensis*.

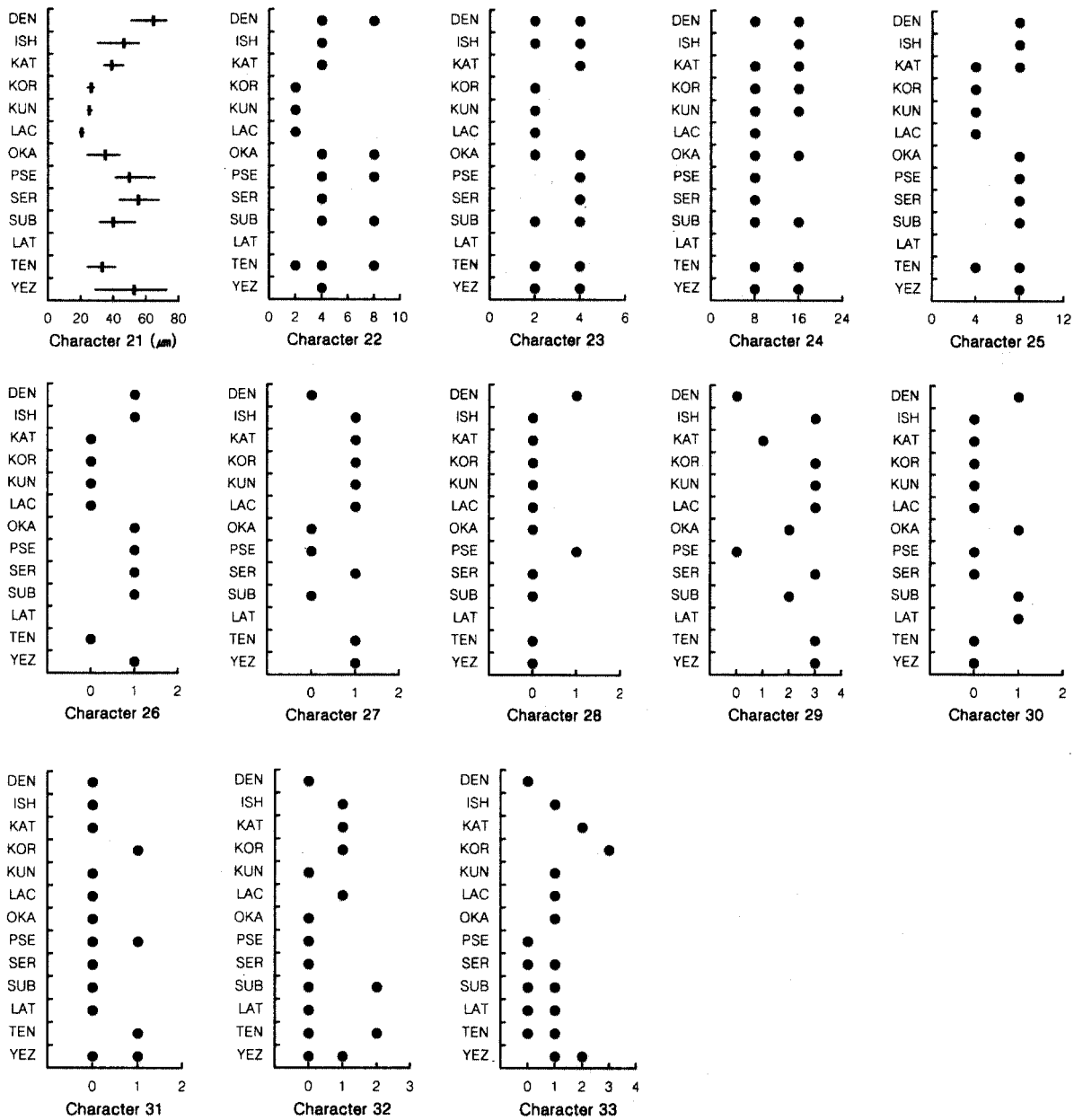

Fig. 4. (continued)

Conway 등(1975)은 분열 후 형성된 정자와 과포자의 정확한 수를 파악하기 어려우므로 엽체표면의 분열양식을 제외하고 횡단면의 분열층 수만을 종의 식별에 이용하였다. 한국산 식물 중 수리분류학적 분석 대상인 개체들의 경우 잇바디돌김, 패돌김, 오카무라돌김, 둥근돌김, 참김 및 방사무늬김은 횡단면에서 과포자낭 분열층 수의 변이가 나타났으며(Fig. 4; 형질 23), 카타다돌김은 정자낭의 분열층 수에서 변이가 나타났으나(Fig. 4; 형질 25), 더 많은 개체를 관찰하였을 때는 거의 모든 분류군에서 변이가 인정되었다(황과 이 2001).

한편, 과포자낭을 횡단면에서 보았을 때 사면분열이 일어나는 경우는 분열형식을 적용하기 어려운 점이 있었다. 본 연구에서는 사면분열을 분열형식에 적용할 때 수평분열과 마찬가지로 단면에서의 분열층 수가 증가하는 것으로 취급하였다. 그러나 사면분열의 유무 자체도 종에 따른 주요한 특징이므로 분열형식과는 별도의 식별형질로 취급하여야 할 것으로 판단되었다. 과포자낭에서 사면분열이 나타나는 분류군은 잇바디돌김, 패돌김, 오카무라돌김, 긴잎돌김, 모무늬돌김, 둥근돌김과 방사무늬김이었다(Fig. 4; 형질 26).

수정모: Miura(1988)는 일본산 양식 김을 분류하는 데에 수정모의 특징을 처음으로 식별형질에 포함시킨 바 있다. 한

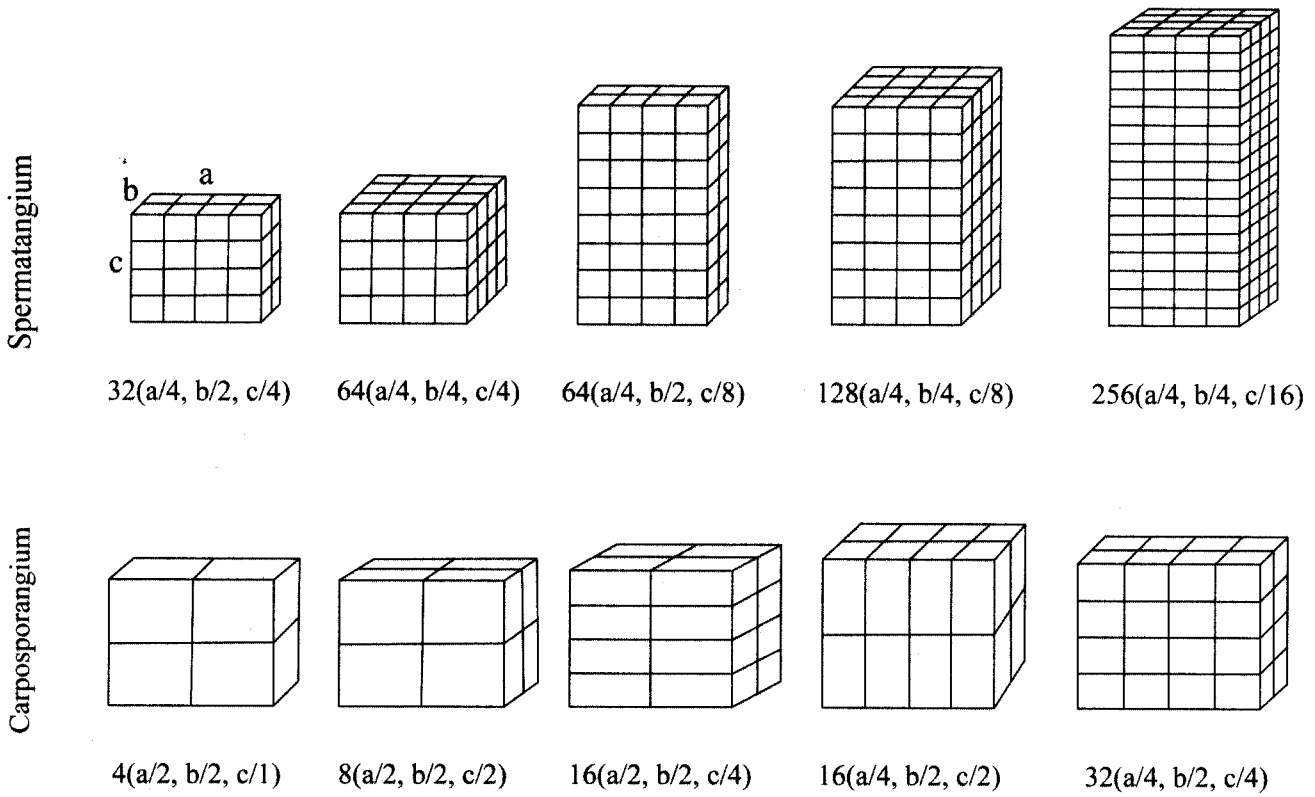

Fig. 5. Division patterns of spermatangium and carposporangium of *Porphyra*.

국산 김속 식물은 조과기의 수정모가 뚜렷한 분류군과 뚜렷하지 않은 분류군으로 나눌 수 있었다. 수정모가 뚜렷한 분류군은 패돌김, 카타다돌김, 비단잎돌김, 쿠니에다김, 갈래잎돌김, 모무늬돌김, 참김과 방사무늬김이었다(Fig. 4; 형질 27).

생식유형: 김속 식물에는 다양한 생식유형이 관찰되지만 기본적으로는 자웅동주(monoecious)와 자웅이주(dioecious)로 구별된다. 한국산 김에서 자웅동주인 분류군은 패돌김, 카타다돌김, 비단잎돌김, 쿠니에다김, 갈래잎돌김, 오카무라돌김, 모무늬돌김, 둥근돌김, 참김과 방사무늬김이었다(Fig. 4; 형질 28). 일본산 참김과 카타다돌김은 자웅동주뿐 아니라 수배우체도 발견되어 웅성이주(androdioecious)로 구분되고 있는데(Tanaka 1952; Kurogi 1961; Miura 1968, 1988), 본 연구에서는 참김에서 아주 드물게 수배우체를 발견할 수 있었으나 카타다돌김에서는 수배우체를 발견하지 못하였다. 한편, 일본산 방사무늬김은 자웅동주뿐 아니라 암, 수 배우체가 출현하는 삼성이주(trioecious) 현상이 보고되었으나(Miura 1988), 한국산 식물에서는 자웅동주와 드물게 수배우체만을 채집할 수 있었다.

한국산 잇바디돌김과 긴잎돌김은 자웅이주였다(Fig. 4; 형질 28). 이들 종에서도 역시 암, 수 배우체뿐 아니라 예외적으로 자웅동주가 발견되기도 하였다(황과 이 2001). 넓은둥근돌김에서는 성숙한 개체를 발견할 수 없었으므로 생식유형을 확인할 수 없었다.

Miura(1988)는 생식유형을 식별형질로 사용할 때 자웅동주, 자웅이주, 웅성이주, 삼성이주 등으로 세분하였으나, 자웅동주에서 암배우체 또는 수배우체가 별도로 나타나거나 자웅이주에서 자웅동주의 개체가 나타나는 것은 그 수가 아주 적어 예외적인 현상으로 볼 수 있으므로, 생식유형은 기본적으로 자웅동주 또는 자웅이주로 구분하는 것이 타당할 것으로 판단되었다. 본 연구에서는 각 개체를 단위로 식별형질을 비교하였으므로, 이 형질에 대해서는 양성체(bisexual) 또는 단성체(monosexual)로 부호화하였다(Table 1; 형질 28).

정자낭반의 유형: 정자낭반의 위치와 형태에 따라 김속 식물은 4가지 유형으로 구분할 수 있었다. 첫째는 엽체 전체에 걸쳐 정자낭이 형성되었으며, 둘째는 정자낭반이 엽체의 반쪽 면에, 셋째는 정자낭반이 엽체 가장자리를 따라서, 넷째는 정자낭반이 엽체 가장자리 뿐 아니라 안쪽에 여러 가지 무늬로 형성되는 유형을 나타내었다(Table 1, Fig. 4; 형질 29).

이 중 첫째 유형은 자웅이주 분류군에서, 나머지 세 유형

은 자웅동주 분류군에서 나타났다. 자웅동주 분류군들 중에서 정자낭반이 엽체의 반쪽 면에 형성되는 종은 카타다돌김 한 종이었다. 정자낭반이 엽체 가장자리를 따라서 형성되는 분류군은 오카무라돌김과 둥근돌김이었다. 이들 두 분류군에서는 정자낭이 과포자낭보다 먼저 성숙하여 방출하므로 대부분의 경우 정자낭반은 엽체 가장자리의 아랫 부분에서만 관찰되었다. 정자낭반이 엽체 안쪽으로 여러 가지 무늬를 형성하는 경우에는 무늬의 형태에 따라 다시 비정형, 타원형, 선형, 쐐기형, 사각형, 마름모형 등으로 구분할 수 있었다. 패돌김은 정자낭반이 쐐기형 또는 사각형의 작은 무늬로 나타났고, 비단잎돌김은 사각형 또는 마름모형의 작은 무늬, 쿠니에다김은 선형 또는 쐐기형, 갈래잎돌김은 선형 또는 타원형의 작은 무늬, 모무늬돌김은 사각형, 참김은 선형 또는 비정형, 방사무늬김은 선형 또는 쐐기형으로 나타났다.

거치상 돌기: 엽체 가장자리의 거치상 돌기의 유무에 따라 한국산 김속 식물은 크게 두 그룹으로 구분되었다. 거치상 돌기가 관찰되는 분류군은 잇바디돌김, 오카무라돌김, 둥근돌김과 넓은둥근돌김이었으며 그 외 분류군에서는 거치상 돌기가 관찰되지 않았다(Fig. 4; 형질 30).

파상무늬: 엽체를 건조표본으로 만들었을 때 가장자리에 자연스러운 파상무늬가 나타나는 경우가 있었다. 비단잎돌김과 참김에는 항상 파상무늬가 나타났지만 방사무늬김과 긴잎돌김에서는 개체별로 달랐으며 그 외 종에는 나타나지 않았다(Fig. 4; 형질 31).

부착기질: 부착기질은 대표적으로 암반, 다른 해조류 및 해산동물의 세 종류로 구분할 수 있었다. 이 밖에도 콘크리트 축조물, 목조물, 밧줄 등에도 부착하였으나 부착기질의 종류에는 포함시키지 않았다. 잇바디돌김, 쿠니에다김, 오카무라돌김, 긴잎돌김, 모무늬돌김과 넓은둥근돌김은 암반에만 부착하였고, 패돌김, 카타다돌김, 비단잎돌김과 갈래잎돌김은 다른 해조류에만, 둥근돌김과 참김은 암반 또는 해산동물에 부착하였다. 방사무늬김은 3 종류의 기질에 모두 부착하였으나 수리분류학적 분석대상은 암반 또는 다른 해조류에 부착한 개체들이었다(Fig. 4; 형질 32).

다른 해조류에 부착하는 경우 패돌김은 항상 패(*Ishige okamurae* Yendo)에만 부착하였고, 카타다돌김은 작은톱니지누아리(*Prionitis patens* Okamura), 개우무(*Pterocladiella capillacea* (Gmelin) Bornet), 마디잘록이(*Lomentaria catenata* Harvey), 모자반류(*Sargassum* spp.) 등, 비단잎돌김은 참지누아리(*Grateloupia filicina* (Lamouroux) C. Agardh), 작은톱니지누아리(*Prionitis patens*) 등, 갈래잎돌김은 패(*Ishige okamurae*), 넓패(*Ishige sinicola* (Setchell et Gardner) Chihara), 바위수염(*Myelophycus simplex* (Harvey) Papenfuss) 등에 부착하였다. 방사무늬김이 다른 해조류에 부착하는 경우는 주로 그 부착기질이 염주말(*Chaetomorpha moniligera* Kjellman), 우뭇가사리(*Gelidium amansii* (Lamouroux) Lamouroux), 참지누아리(*Grateloupia filicina*), 산호말류(*Corallina* spp.), 모자반류(*Sargassum* spp.) 등이었다. 김속 식물이 부착하는 해산동물은 둥근돌김의 경우는 담치류(*Mytilus* spp.)와 조무래기따개비류(*Chthamalus* spp.), 참김의 경우는 굴류(*Crassostrea* spp.), 그리고 방사무늬김의 경우는 담치류(*Mytilus* spp.)였다.

Table 2. Loadings of the first three principal components for 24 characters from the analysis of 212 OTUs for 13 taxa of *Porphyra* (Character numbers correspond to those in Table 1.)

Character No.	Components		
	1	2	3
1	0.234	- 0.043	0.134
2	- 0.078	0.373	- 0.084
3	- 0.136	0.297	0.100
4	0.289	- 0.164	- 0.031
5	0.170	0.183	- 0.138
6	- 0.093	- 0.145	0.110
7	- 0.099	0.388	- 0.064
8	0.232	0.306	0.088
9	0.051	- 0.198	0.257
10	0.130	0.071	0.307
11	- 0.170	- 0.173	- 0.001
12	0.213	0.247	0.231
13	0.341	- 0.049	- 0.182
14	- 0.010	0.323	0.257
15	0.122	- 0.123	0.283
16	0.258	0.241	0.272
17	0.168	- 0.208	0.324
18	0.316	0.008	- 0.049
19	0.173	- 0.062	- 0.261
28	0.335	- 0.136	- 0.050
30	0.138	- 0.032	- 0.401
31	- 0.099	- 0.223	0.308
32	- 0.203	- 0.083	0.140
33	- 0.307	- 0.079	- 0.030
Eigenvalue	6.084	4.775	2.386
Cumulative % of eigenvalue	25.3	45.2	55.2

생육대: 김속 식물이 생육하는 곳은 조간대 상, 중, 하부와 조하대로 구분할 수 있었다. 잇바디돌김과 긴잎돌김은 조간대 상부에서, 패돌김, 쿠니에다김, 갈래잎돌김과 오카무라돌김은 조간대 중부에서, 카타다돌김은 조간대 하부에서, 그리고 비단잎돌김은 조하대에서 생육하였다. 모무늬돌김, 둥

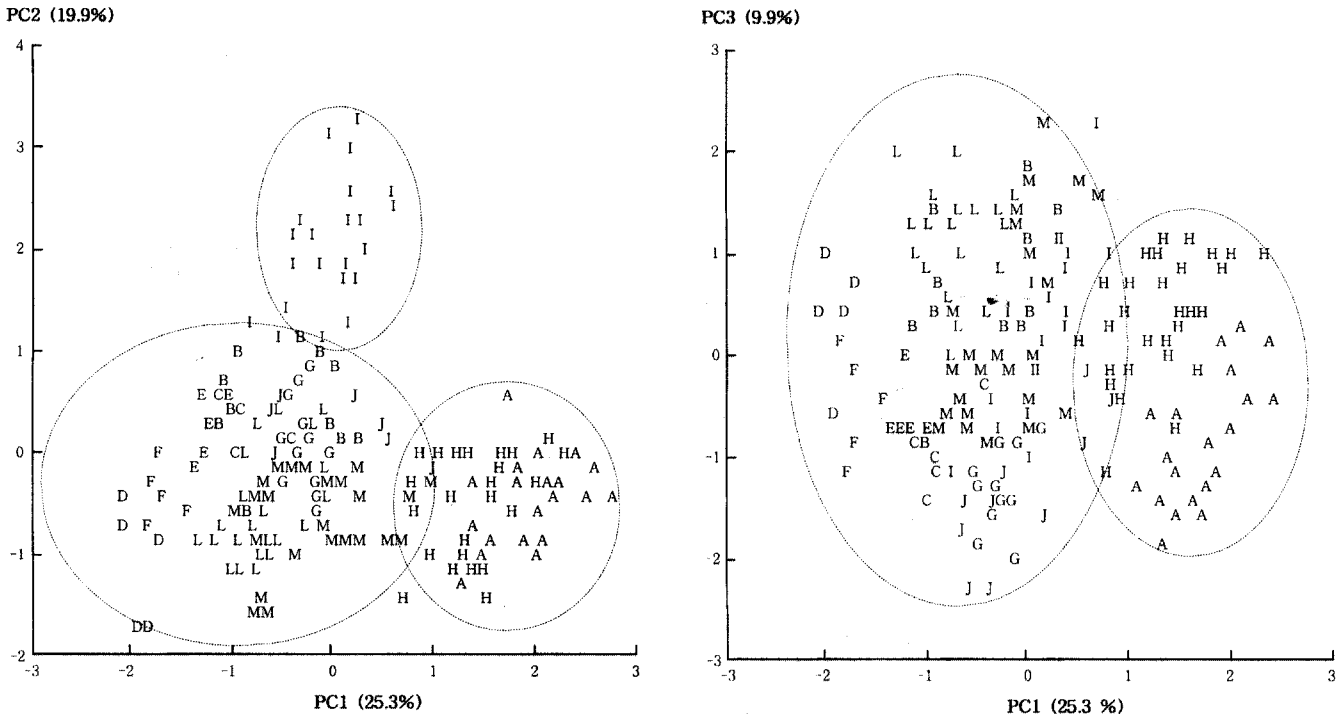

Fig. 6. Principal component analysis of 212 OTUs for 13 taxa of *Porphyra* using 24 characters. Some individuals are hidden due to the same values. A, *P. dentata*; B, *P. ishigecola*; C, *P. katadae*; D, *P. koreana*; E, *P. kuniedae*; F, *P. lacerata*; G, *P. okamurae*; H, *P. pseudolinearis*; I, *P. seriata*; J, *P. suborbiculata* f. *suborbiculata*; K, *P. suborbiculata* f. *latifolia*; L, *P. tenera*; M, *P. yezoensis*.

근돌김, 넓은등근돌김과 참김은 조간대 상부 또는 중부에서 생육하였고 방사무늬김은 조간대 중부 또는 하부에서 생육하였다(Fig. 4; 형질 33).

수리분류학적 분석

한국산 김속 식물의 변이 양상과 분류학적 위치를 파악하고자 12종 2품종에 속하는 212개체(Appendix)로부터 측정한 33개 형질들(Table 1)을 사용하여 주성분분석(PCA)과 집괴분석(cluster analysis)을 수행하였다. 식별형질을 비교할 때 다루었던 체색은 색깔의 미묘한 차이를 정량화하기 어렵고 포르말린으로 고정하면 원래의 색깔을 유지하기 어렵기 때문에 수리분류학적 분석에는 포함시키지 않았다.

주성분분석: 잇바디돌김과 긴잎돌김은 자웅이주로서 33개 형질 모두를 동시에 분석할 수 없었으므로 생식에 관련되는 형질(Table 1; 형질 20-27, 29)을 제외한 24개 형질에 대하여 주성분분석을 우선적으로 실행하였다. 생식관련 형질 중 자웅이주에서도 부호화가 가능한 생식유형(형질 28)은 분석에 포함하였다. 넓은등근돌김은 결측값이 다수 있었으므로 본 분석에서는 제외되었다.

주성분분석 결과 처음 3개의 주성분이 전체 분산의 55.2%를 설명하는 것으로 나타났으며(Table 2), 나머지 주성분들은 기여율이 각각 7% 미만이었다. 주성분 1은 전체 분산의 25.3%를 설명하며, 주로 엽체 중부의 두께(형질 13), 생식유형(형질 28)과 횡단면에서 영양세포의 높이(형질 18)가 높은 벡터값을 나타내었다(Table 2). 주성분 2는 전체 분산의 19.9%를 설명하며, 엽체 하부의 각도(형질 7)와 [최대 엽체길이 - 기부로부터의 엽체길이]와 최대 엽체길이의 비(형질 2)가 높은 벡터값을 나타내었다(Table 2). 주성분 3은 전체 분산의 9.9%를 설명하며, 거치상 돌기의 유무(형질 30)와 영양세포의 면적(형질 17)이 높은 벡터값을 나타내었다(Table 2).

이 중 기여율이 가장 높은 주성분 1과 2를 축으로 각 OTU를 배열한 결과, OTU들은 크게 (1) 잇바디돌김과 긴잎돌김의 그룹, (2) 모무늬돌김의 그룹, 그리고 (3) 나머지 분류군들의 그룹으로 구분되었다(Fig. 6). 잇바디돌김과 긴잎돌김은 주성분 1과 3축으로 배열하였을 때에도 다른 그룹들과 뚜렷하게 구분되었으므로 이 두 분류군을 제외한 후 생식관련 형질을 포함한 32개 형질에 대하여 주성분분석을 1회 더 실행하였다. 분석대상 OTU들이 모두 자웅동주였으므로 전체 33개 형질 중 생식유형(형질 28)은 제외하였다.

그 결과 처음 3개의 주성분이 전체 분산의 53.3%를 설명하는 것으로 나타났다(Table 3). 주성분 1은 전체 분산의 27.6%를 설명하며, 가근 부위의 두께(형질 8), 과포자낭의 사면분열 유무(형질 26)와 과포자낭 부위의 두께(형질 20)가 비교적 높은 벡터값을 나타내었다(Table 3). 주성분 2는

Table 3. Loadings of the first three principal components for 32 characters from the analysis of 153 OTUs for 11 taxa of *Porphyra* (Character numbers correspond to those in Table 1.)

Character No.	Components		
	1	2	3
1	0.013	- 0.129	0.227
2	0.230	- 0.189	- 0.099
3	0.156	- 0.240	0.073
4	- 0.125	0.132	0.121
5	0.195	- 0.083	- 0.068
6	- 0.126	0.057	- 0.009
7	0.221	- 0.271	- 0.067
8	0.284	- 0.097	0.075
9	- 0.050	0.254	0.258
10	0.035	- 0.203	0.183
11	- 0.204	- 0.081	- 0.113
12	0.222	- 0.171	0.193
13	0.218	0.275	0.028
14	0.119	- 0.313	0.062
15	- 0.031	0.133	0.261
16	0.240	- 0.097	0.264
17	- 0.074	0.152	0.349
18	0.220	0.204	0.063
19	0.089	0.171	- 0.044
20	0.252	0.152	0.080
21	0.229	0.129	0.208
22	0.166	0.250	- 0.195
23	0.219	0.130	0.043
24	- 0.064	0.237	0.063
25	0.236	0.214	0.051
26	0.255	0.187	0.006
27	- 0.196	0.049	0.230
29	- 0.054	- 0.152	0.348
30	0.075	0.205	- 0.343
31	- 0.184	0.107	0.301
32	- 0.149	- 0.042	0.027
33	- 0.165	0.086	- 0.071
Eigenvalue	8.834	4.511	3.708
Cumulative % of eigenvalue	27.6	41.7	53.3

전체 분산의 14.1%를 설명하며, 가근 부위의 두께와 엽체 중부 두께의 비(형질 14), 엽체 중부의 두께(형질 13), 엽체 하부의 각도(형질 7) 등이 비교적 높은 벡터값을 나타내었다(Table 3). 주성분 3은 전체분산의 11.6%를 설명하며, 엽체표면에서 영양세포의 면적(형질 17), 정자낭반의 유형(형질 29), 거치상 돌기의 유무(형질 30) 등이 높은 벡터값을 나타내었다(Table 3).

주성분 1과 2축으로 각 OTU를 배열한 결과, OTU들은 크게 세 그룹으로 구분되었다(Fig. 7). 첫번째는 모무늬돌김의 단일 그룹이고, 두번째는 패돌김, 방사무늬김, 카타다돌김, 오카무라돌김과 둥근돌김 그룹이며, 세번째는 비단잎돌김, 쿠니에다김, 갈래잎돌김과 참김 그룹이었다. 이들 중 두 번째 그룹은 주성분 1과 3축에 의하여 다시 두 그룹 즉, 패돌김과 방사무늬김의 그룹, 카타다돌김, 오카무라돌김과 둥근돌김의 그룹으로 구분되었다.

집괴분석: 주성분분석과 마찬가지로 총 212 OTU를 대상으로 우선 24개 형질 자료를 기초로 집괴분석을 실행하였다. 표준화된 data matrix로부터 OTU간의 average taxonomic distance를 계산하여 이를 UPGMA 방법으로 유집한 결과, 한국산 김속 식물의 OTU들은 average taxonomic distance (ATD) 1.50 수준에서 3개의 그룹으로 유집되었다(Fig. 8A). 그룹 I은 잇바디돌김과 긴잎돌김의 OTU들로 구성되어 있고 그룹 III은 대부분 모무늬돌김의 OTU들과 넓은둥근돌김의 3 OTU들로 구성되어 있으며, 그룹 II는 넓은둥근돌김의 대부분의 OTU들과 나머지 9개 분류군들의 OTU들, 그리고 모무늬돌김의 5 OTU들을 포함하고 있다.

이러한 분석 결과에서 분류군내 모든 OTU들이 그룹 I에 포함되는 잇바디돌김, 긴잎돌김, 그리고 결측값이 많은 넓은둥근돌김을 제외한 후, 주성분분석에서와 마찬가지로 32개 형질의 자료를 기초로 집괴분석을 1회 더 실행하였다. 그 결과 ATD 1.32 수준에서 5개 그룹 즉, (1) 패돌김과 방사무늬김의 OTU들이 포함되는 그룹, (2) 카타다돌김 단일 종의 OTU들이 포함되는 그룹, (3) 오카무라돌김과 둥근돌김의 OTU들이 포함되는 그룹, (4) 쿠니에다김, 갈래잎돌김, 비단잎돌김과 참김의 OTU들이 포함되는 그룹, 그리고 (5) 모무늬돌김 단일 종의 OTU들이 포함되는 그룹으로 유집되었다(Fig. 8B).

ATD 1.20 수준에서 이상의 5개 그룹 내 OTU들을 다시 한번 구분하여 볼 때는 7개의 아그룹으로 나뉘어졌다(Fig. 8B). 그룹 I은 패돌김의 OTU들과 방사무늬김의 OTU들로 뚜렷하게 구분되었다. 그룹 II의 카타다돌김은 1 OTU가 나머지 OTU들과 구분되었으나, 이 개체는 전반적으로 엽체가 두꺼운 특징에 의한 것이므로 별도의 그룹으로 인식하지 않았다. 그룹 III의 오카무라돌김과 둥근돌김의 OTU들은 구분되지 않았다. 그룹 IV는 비단잎돌김, 쿠니에다김과 갈래잎돌김에 속하는 OTU들로 구성된 그룹과 참김의 OTU들로 구성된 그룹으로 아그룹을 형성하였다. 한편, 그룹 V의 모무늬돌김의 OTU들은 ATD 1.20 수준에서도 여전히 단일 그룹을 형성하였다.

고 찰

식별형질의 분석

본 연구에서는 형태 · 해부학적 형질, 부착기질, 생육대

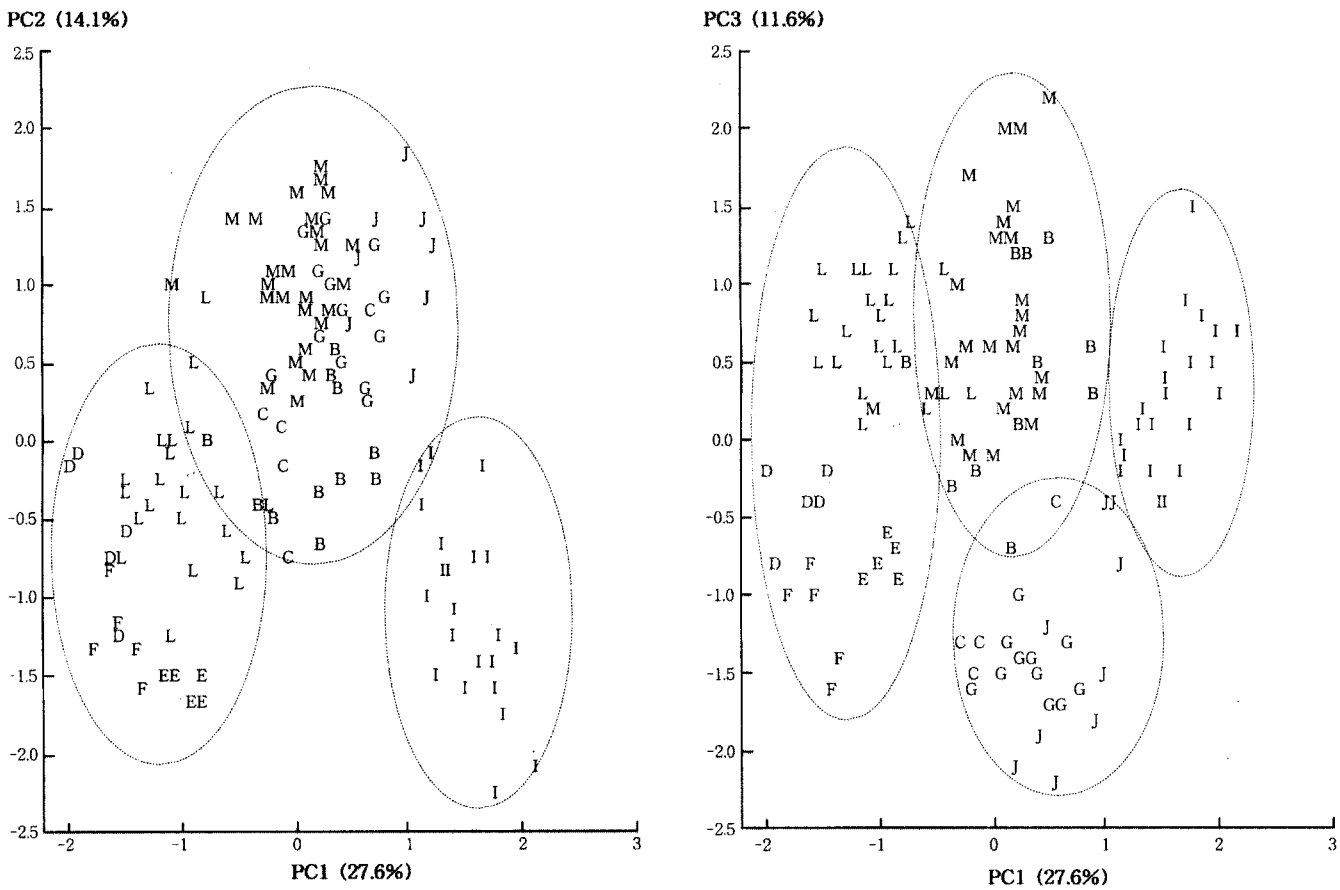

Fig. 7. Principal component analysis of 153 OTUs for 11 taxa of *Porphyra* using 32 characters. Some individuals are hidden due to the same values. Taxon codes correspond to those in Fig. 6.

등의 33개 정량, 정성형질을 분석하여 변이 양상과 폭을 파악하였다. 정량형질들은 대부분의 분류군에서 변이가 나타났으며 분류군간에 변이 폭이 중복되었다. 특히, 기부로부터 3/4 위치의 엽폭과 기부로부터 1/2 위치의 엽폭의 비(형질 6), 엽체표면에서 가근세포의 폭(형질 9), 엽체표면에서 엽체 중부 세포의 폭(형질 15)은 거의 모든 분류군에서 평균과 변이 폭이 유사하였으므로(Fig. 4) 이들을 식별형질로 다루기에는 부적합한 것으로 판단되었다. 그러나, 최대 엽장/최대 엽폭(형질 4)의 비는 잇바디돌김과 긴잎돌김에서 현저하게 높은 값을 보여 다른 분류군들로부터 이 두 분류군을 식별하는 데 효과적이었으며, 엽체하부의 각도(형질 7)는 모무늬돌김을 식별하는 데 효과적인 형질이었다. 또한 엽체의 두께를 나타내는 형질들(형질 8, 13, 20, 21)은 쿠니에다김, 갈래잎돌김과 비단잎돌김에서 낮은 값을 보여, 이들 세 분류군과 나머지 분류군들이 구분되었다.

정성형질들 중에서도 정자낭과 과포자낭의 분열형식(형질 22-25), 파상무늬의 유무(형질 31), 부착기질의 종류(형질 32)와 생육대(형질 33)는 분류군내에서 변이가 있었으며 분류군 간에 중복현상이 나타났다. 나머지 정성형질들 즉, 과포자낭에서 사면분열의 유무(형질 26), 조과기의 수정모형태(형질 27), 생식유형(형질 28), 정자낭반의 유형(형질 29)과 거치상 돌기의 유무(형질 30)는 분류군내 변이가 나타나지 않아 각 형질상태에 따라 분류군들을 그룹으로 구분할 수 있었다.

정자낭과 과포자낭 분열형식(형질 22-25)은 Ueda(1932), Tanaka(1952) 등의 연구자들이 종을 구분하는 결정적인 형질로 다루어 왔으나, 분류군내에서 상당한 변이가 관찰되었으므로 이 형질만으로는 분류군을 식별하는 데 어려움이 있었다. 다만, 각 분류군은 주된 분열형식이 있으며 그 변이의 폭이 분류군별로 정해져 있으므로 다른 형질들과의 조합을 통하여 분류군을 식별한다면 효과적일 것으로 판단되었다.

한편, 거치상 돌기(형질 30)는 호주산 *P. denticulata*를 제외하고는 아시아산 김속 식물에 한정되어 나타나는 특징으로서 종을 식별하는 데 매우 중요한 형질로 채택되어 왔다(Ueda 1932; Tanaka 1952; Kurogi 1972; Tseng and Chang 1958; Tseng 1983). 거치상 돌기가 없는 분류군 중에서 모무늬돌김과 *P. marginata* Tseng et Chang에서는 엽체 가장자리 부분이 퇴화되는 특징이 있다. Tseng and

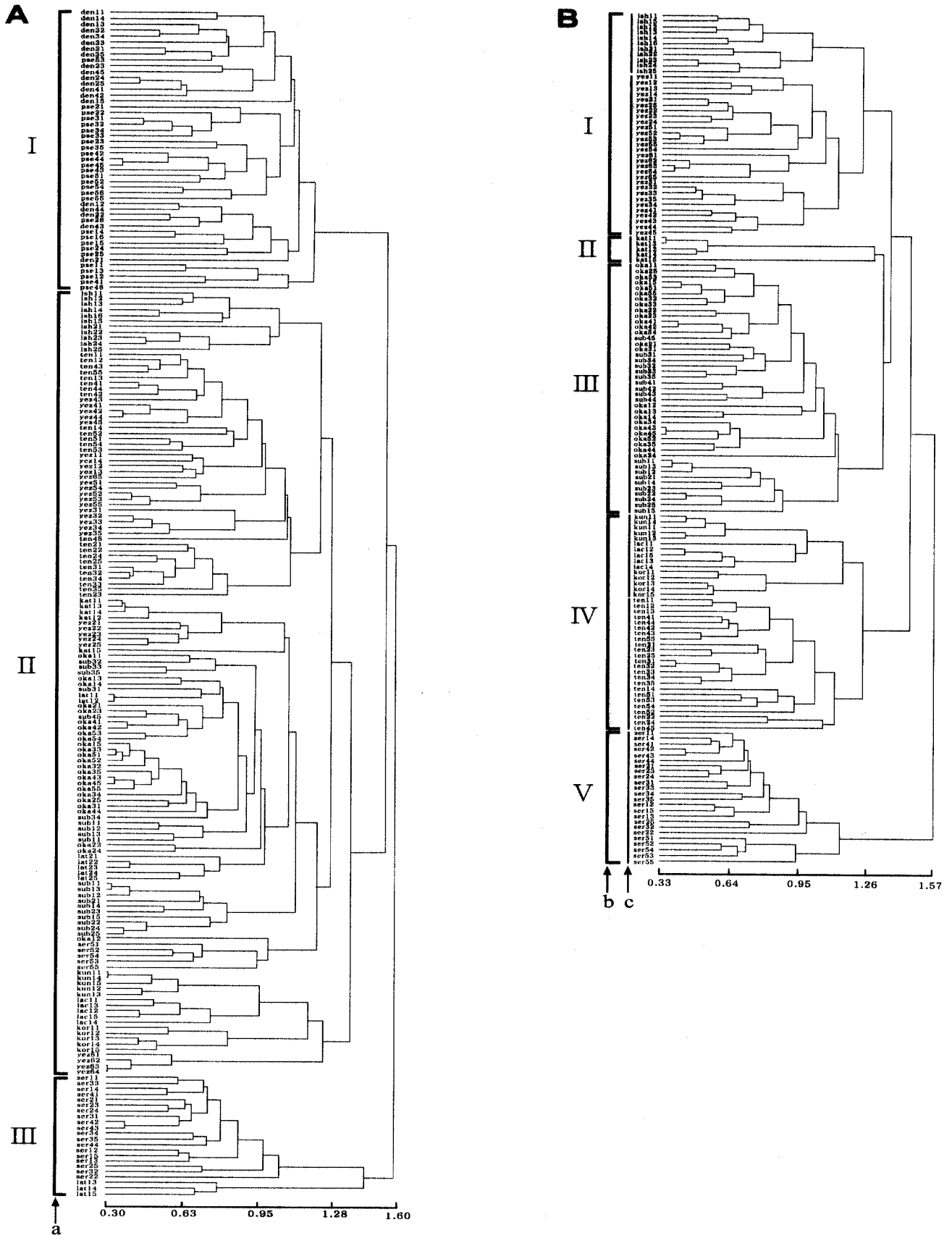

Fig. 8. UPGMA phenograms. A, phenogram for 212 OTUs of 13 taxa of *Porphyra* based on average taxonomic distance (ATD) computed from 24 standardized characters; B, phenogram for 153 OTUs of 11 taxa based on ATD from 32 standardized characters; a, grouping based on ATD 1.50; b, grouping on ATD 1.32; c, grouping on ATD 1.20.

Chang(1958)은 이러한 특징에 진화적 의미를 부여하여 참김아속 내 *Marginata*절(section)을 설정하였으며 이와 더불어 거치상 돌기의 유무를 기준으로 *Dentata*절과 *Edentata*절을 설정하였다. 또한 Chu and Wang(1960)은 거치상 돌기가 있으면서 가장자리 세포들이 퇴화하는 특징을 갖는 *P. dentimarginata*를 신종으로 기재하면서 이 종이 *Edentata*절로부터 *Marginata*절로 이르는 진화적 중간 단계일 것으로 추정하였다. 한국산 김속 식물에서는 자웅이주인 잇바디돌김과 자웅동주인 오카무라돌김과 둥근돌김에서 거치상 돌기가 관찰되었다. Allozyme 분석결과에 따르면 자웅이주 또는 자웅동주와 같은 생식유형은 종간 유연관계를 나타내는 주요 식별형질인데(Hwang *et al.* 1998), 거치상 돌기가 있는 분류군은 양쪽 생식유형에 산발적으로 나타나므로 거치상 돌기의 유무는 진화적 의미나 절을 나눌 정도의 형질로 보기는 어려울 것으로 판단되었다.

수리분류학적 분석

한국산 김속 식물 12종 2품종에 대하여 주성분분석과 집괴분석을 수행한 결과, 두 가지 분석에서 공통적으로 잇바디돌김, 긴잎돌김과 모무늬돌김이 나머지 분류군들과 뚜렷이 구분되었다. 이들 세 종을 제외한 나머지 분류군들의 경우, 주성분분석에서는 서로 인접한 세 그룹 즉, 패돌김과 방사무늬김의 그룹, 카타다돌김, 오카무라돌김과 둥근돌김의 그룹, 그리고 쿠니에다김, 갈래잎돌김, 비단잎돌김과 참김의 그룹으로 배열되었다. 집괴분석에서는 ATD 1.32 수준에서 카타다돌김이 오카무라돌김과 둥근돌김으로부터 분리된 것을 제외하고는 주성분분석 결과와 일치하였다. 또한 집괴분석에서는 ATD 1.20 수준에서 오카무라돌김, 둥근돌김과 넓은둥근돌김를 제외한 분류군들이 아그룹을 이루며 뚜렷하게 구분되었다.

잇바디돌김과 긴잎돌김은 자웅이주로서 체형이 선형 또는 피침형이고 엽체 중부가 두꺼운 특징을 공통적으로 가지고 있어 주성분분석과 집괴분석에서 우선적으로 구분되는 분류군들이었다(Figs 6, 8A). 그러나 잇바디돌김은 거치상 돌기가 존재하는 특징으로 긴잎돌김과 쉽게 구분되었다. 두 종의 분포 범위도 뚜렷이 구분되어 잇바디돌김은 남·서해안의 도서지역에 분포하는 반면 긴잎돌김은 동해안에만 분포하였다.

모무늬돌김 역시 주성분분석과 집괴분석에서 뚜렷하게 구분되는 종으로서(Figs 6, 8), 체형이 깔때기형이고 가근세포의 부위가 두꺼운 특징을 가지며 남·서해안 전역에 분포하였다.

패돌김과 방사무늬김은 주성분분석과 집괴분석 결과로 볼 때 가장 가까운 종이었다(Figs 7, 8B). 패돌김은 방사무늬김과는 달리 원형 또는 심장형이고 적갈색을 띠며 항상 패(*Ishige okamurae*)에만 부착하여 생육하는 점에서 구분되지만 두 종은 생식 관련 형질들(형질 22, 25, 27, 29), 엽체표면에서의 영양세포의 면적(형질 17) 등에서 유사한 특징을 가지고 있었다. Allozyme 분석에서도 패돌김은 방사무늬김의 지역개체군으로 인식될 수 있는 수준이었으므로(Hwang *et al.* 1998), 이 종의 독립성은 재고의 필요성이 있는 것으로 판단되었다.

비단잎돌김, 쿠니에다김과 갈래잎돌김은 수리분류학적 분석 결과 가장 가까운 종으로서(Figs 7, 8B), 엽체의 두께(형질 8, 13, 20, 21)가 현저하게 얇고 과포자낭과 정자낭의 분열형식(형질 22-25)에서 공통적인 특징을 나타내었다. 집괴분석의 경우, 대부분의 분류군이 구분되는 ATD 1.20 수준에서 세 종은 구분되지 않았다(Fig. 8B). 그러나 비단잎돌김은 조하대의 다른 해조류에 부착하고 쿠니에다김은 엽체가 크고 조간대 암반에 부착하며 갈래잎돌김은 엽체가 작고 조간대의 다른 해조에 부착한다는 점에서 세 종을 구분할 수 있었다. 비단잎돌김은 조하대에 생육하고 정자낭반이 사각형 또는 마름모형의 작은 반점을 이루는 특징이 있고 쿠니에다김은 여름철에도 생육하는 특징이 있으며 갈래잎돌김은 정자낭반의 형성위치와 형태 때문에 엽체가 심하게 찢어지는 특징이 있는데, 이와 같은 특징에 의해 각 종은 신종으로 기재된 바 있다(Kurogi 1957; Miura 1967; Hwang and Lee 1994). 따라서 ATD 1.20 수준에서는 한 집단으로 유집되었다 하더라도 앞서 언급한 각 분류군의 뚜렷한 특징과 함께 ATD 0.95 수준에서 세 종에 속하는 OTU들이 뚜렷이 구분된 현상을 고려해 볼 때, 이들 분류군들은 여전히 독립된 종으로 인식해야 할 것으로 판단되었다.

참김은 엽체가 비교적 얇고 가장자리에 파상무늬가 잘 발달하고 거치상 돌기가 없다. 정자낭반은 엽체 안쪽으로 선형 또는 비정형의 무늬를 이루는 특징이 있고 남, 서해안 전역에 분포한다. 주성분분석 및 집괴분석에서 참김은 쿠니에다김, 갈래잎돌김과 비단잎돌김과 가까이 배열되거나 함께 그룹을 형성하였다(Figs 7, 8B). Allozyme 분석결과에서도 비단잎돌김과 그룹을 형성한 것으로 볼 때(Hwang *et al.* 1998), 참김은 엽체 두께가 얇은 세 종과 근연관계인 것으로 추정되었다.

카타다돌김은 정자낭과 과포자낭이 엽체 좌, 우 반쪽 면에 나뉘어 형성되는 특징으로 다른 분류군과 쉽게 구분되었다. 주성분분석에서는 둥근돌김 및 오카무라돌김과 가까이 배열되었으나(Fig. 7) 집괴분석에서는 독립된 그룹을 형성하였다(Fig. 8B).

오카무라돌김과 둥근돌김의 OTU들은 주성분분석과 집괴분석에서 전혀 분리되지 않았으며(Figs 7, 8B), 특히 집괴분석에서는 어떤 수준에서도 아그룹을 형성하지 않았다. 오카무라돌김은 체형과 과포자낭 및 정자낭 분열형식의 특징으

로 Ueda(1932)가 신종 기재하였다. Tanaka(1952)와 Fukuhara(1968)는 두 종을 근연종으로 인식하였으나, 오카무라돌김은 체형이 난형 또는 장란형이고 과포자낭 분열형식은 16(a/2, b/2, c/4), 정자낭 분열형식은 128(a/4, b/4, c/8)인데 비하여, 둥근돌김은 체형이 원형 또는 신장형이고 과포자낭 분열형식은 32(a/4, b/2, c/4) 또는 16(a/2, b/2, c/4), 정자낭 분열형식은 64(a/4, b/4, c/4)이어서 두 종을 구분하였다. 그러나 한국산 오카무라돌김에서는 난형 또는 장란형일 뿐 아니라 때때로 원형 또는 신장형인 개체도 관찰되었다. 과포자낭 분열형식은 16(a/2, b/2, c/4) 또는 32(a/4, b/2, c/4)이고 정자낭의 분열형식은 64(a/4, b/2, c/8) 또는 128(a/4, b/4, c/8)로서, 둥근돌김의 과포자낭 분열형식 32(a/4, b/2, c/4), 정자낭 분열형식 64(a/4, b/2, c/8) 또는 128(a/4, b/4, c/8)과 다르지 않았다. 따라서 식별형질을 비교하고 수리분류학적 분석 결과를 고려해 볼 때, 이들 두 분류군을 독립된 종으로 인식할 수 없을 것으로 판단되었으며 이는 allozyme 분석 결과에서도 뒷받침된 바 있다(Hwang *et al.* 1998).

한편, 넓은둥근돌김은 엽체가 큰 특징에 의해 둥근돌김으로부터 분리된 품종으로서(Tanaka 1952), 생식세포가 형성된 성숙한 개체를 발견할 수 없었다. 이 분류군은 결측값이 많아서 주성분분석에서 제외시켰고 집괴분석에는 포함시켰다. 생식에 관련된 형질을 제외한 24개 형질 자료를 기초로 집괴분석을 수행한 결과, 이 분류군에 속하는 OTU들은 오카무라돌김과 둥근돌김의 OTU들 사이에서 아그룹을 형성하지 않았으므로(Fig. 8A) 분리된 품종으로 판단할 수 없었다.

참고문헌

이욱재 · 김광용. 1997. 지역개체군의 형태변이에 의한 한국산 갈조식물 참그물바탕말(*Dictyota dichotoma*)의 분류학적 연구. *Algae* **12:** 83-91.

황미숙 · 이인규. 2001. 한국산 홍조식물 김속(*Porphyra*)의 분류. *Algae* **16:** 233-273.

Chu C.-Y. and Wang S.-C. 1960. Study on *Porphyra dentimarginata* sp. nov. *Acta Bot. Sinica* **9:** 37-41.

Conway E., Mumford T.F. and Scagel R.F. 1975. The genus *Porphyra* in British Columbia and Washington. *Syesis* **8:** 184-244.

Fukuhara E. 1968. Studies on the taxonomy and ecology of *Porphyra* of Hokkaido and its adjacent waters. *Bull. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab.* **34:** 40-99. (in Japanese)

Hollenberg G.J. 1959. *Smithora*, an investing new algal genus in the Erythropeltidaceae. *Pac. Nat.* **1:** 3-11.

Hus H.T.A. 1902. An account of *Porphyra* found on the Pacific Coast of North America. *Proc. Calif. Acad. Sci. Ser. 3. Botany* **2:** 173-240.

Hwang M.S., Han M. and Lee I.K. 1998. Allozyme variation and species relationships in the genus *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta) from Korea. *Algae* **13:** 447-459.

Hwang M.S. and Lee I.K. 1994. Two species of *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta), *P. koreana* sp. nov. and *P. lacerata* Miura from Korea. *Korean J. Phycol.* **9:** 169-177.

Kurogi M. 1957. "Yoshoku-nori no Shurui" (Species of cultivated *Porphyra*). *Aquaculture* **4:** 21-28. (In Japanese)

Kurogi M. 1961. Species of cultivated *Porphyra*s and their life histories (Study of the life history of *Porphyra* II). *Bull. Tohoku Reg. Fish. Res. Lab.* **18:** 1-115.

Kurogi M. 1972. Systematics of *Porphyra* in Japan. In: Abbott I.A. and Kurogi M. (eds), *Contributions to the Systematics of Benthic Marine Algae of the North Pacific.* Japanese Society of Phycology, Kobe. pp. 167-191.

Lee I.K. and Kang J.W. 1986. A check list of marine algae in Korea. *Korean J. Phycol.* **1:** 311-325.

Miura A. 1967. Two new species and a new record of *Porphyra* from Enoshima, Sagami Bay. *J. Tokyo Univ. Fish.* **53:** 65-71.

Miura A. 1968. *Porphyra katadai*, a new species from Japanese coast. *J. Tokyo Univ. Fish.* **54:** 55-59.

Miura A. 1988. Taxonomic studies of *Porphyra* species cultivated in Japan, referring to their transition to the cultivated variety. *J. Tokyo Univ. Fish.* **75:** 311-325.

Okamura K. 1913. On the marine algae of Chosen. *Rep. Imp. Bur. Fisher. Sci. Invest.* **2:** 17-30.

Phipps J.B. 1998. Introduction to the red-fruited hawthorns (Crataegus, Rosaceae) of western North America. *Can. J. Bot.* **76:** 1863-1899.

Plinski M., Florczyk I. and Galinska M. 1988. The taxonomy of the genus *Enteromorpha* Link in the Gulf of Gdansk, a numerical approach. *Kieler Meeresforsch. Sondeh.* **6:** 265-271.

Russel G. and Fletcher R.L. 1975. A numerical taxonomic study of the British Phaeophyta. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* **55:** 763-783.

Russel G. and Garbary D. 1978. Generic circumscription in the family Ectocarpaceae (Phaeophyta). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* **58:** 517-525.

Small E. 1978a. A numerical and nomenclatural analysis of morpho-geographic taxa of *Humulus*. *Syst. Bot.* **3:** 37-76.

Small E. 1978b. A numerical taxonomic analysis of the *Daucus carota* complex. *Can. J. Bot.* **56:** 248-276.

Sneath P.H.A. and Sokal R.R. 1973. *Numerical Taxonomy: the Principles and Practice of Numerical Classification.* Freeman, San Francisco. 573 pp.

Steussy T.F. 1990. *Plant Taxonomy.* Columbia Univ. Press, New York. 514 pp.

Tanaka T. 1952. The systematic study of the Japanese Protoflorideae. *Mem. Fac. Fish. Kagoshima Univ.* **2:** 1-92.

Tseng C.K. 1983. *Common seaweeds of China.* Science Press, Beijing. 316 pp.

Tseng C.K. and Chang T.J. 1958. On *Porphyra marginata* sp. nov. and its systematic position. *Acta Bot. Sinica* **7:** 15-25.

Ueda S. 1932. Taxonomic Studies on the Japanese *Porphyra*. *J. Imp. Fish. Instit.* **28:** 1-45. (in Japanese)

Accepted 25 October 2002

Appendix. Materials for principal component analysis and cluster analysis of *Porphyra* from Korea

Taxa	Taxon codes	Localities	No. of samples	Collection dates	Specimens
P. dentata	DEN	Neungpo, Geoje	5	Feb. 3, 1993	HDE0001-①,②,③,④,⑤
		Bigeumdo, Shinan	5	Feb. 14, 1993	HDE0045-①,②,④,⑤,⑥
		Seongsanpo, Jejudo	5	Feb. 23, 1993	HDE0037-①,②,⑥
					HDE0038-②,③
		Chupodo, Shinan	5	Feb. 19, 1993	HDE0048-①,②,④,⑤,⑥
P. ishigecola	ISH	Tonggumi, Ulreungdo	6	Feb. 10, 1992	HIS0002-①,②,④,⑥,⑦,⑧
		Hwabook, Jejudo	3	Feb. 23, 1993	HIS0005-①,②, HIS0006-⑤
			2	Mar. 12, 1994	HIS0009-①,②
P. katadae	KAT	Yeonam, Pohang	7	Mar. 13, 1994	HKA0003-①,②
					HKA0004-①,②,③
					HKA0005-①,②
P. koreana	KOR	Bukpyeong, Donghae	3	May 17, 1992	HKO0001～HKO0004
			2	May 23, 1992	HKO0019
P. kuniedae	KUN	Sachon, Namhae	5	Mar. 20, 1994	HKU0004-①,②
					HKU0005-①,②,③
P. lacerata	LAC	Seongsanpo, Jejudo	3	Feb. 22, 1993	HLA0002-①,②,③
			2	Mar. 12, 1994	HLA0005-①,②
P. okamurae	OKA	Jumunjin, Gangreung	5	Feb. 25, 1992	HOK0017, HOK0031-③
					HOK0017-①,②,④
		Gamchusa, Donghae	5	Feb. 26, 1992	HOK0072-①,②,③,④,⑤
		Jangho, Samcheok	5	Jan. 22, 1992	HOK0102-①,②,③,④,⑤
		Jukbyeon, Uljin	5	Jan. 22, 1992	HOK0104-①,②
					HOK0105-①,②,③
		Gampo, Wolseong	5	Jan. 23, 1992	HOK0132-①,②,③
					HOK0134-①,②
P. pseudolinearis	PSE	Chusan, Ulreungdo	6	Feb. 11, 1992	
		Yonggeumjeong, Sokcho	6	Feb. 25, 1992	HPS0001
					HPS0014-①,②,③
					HPS0015-①,②
		Eodal, Donghae	5	Apr. 5, 1990	HPS0170～HPS0074
		Jukbyeon, Uljin	6	Feb. 26, 1992	HPS0104～HPS0108
		Gampo, Wolseong	6	Jan. 23, 1992	HPS0221-①,②,③
					HPS0222～HPS0224
P. seriata	SER	Suchi, Jinhae	5	Jan. 23, 1993	HSE0001-①,②,③
					HSE0002-①,②
		Shinnoryang, Namhae	5	Jan. 25, 1993	HSE0023, HSE0024-①,②
					HSE0025, HSE0026
		Pungnam, Goheung	5	Jan. 26, 1993	HSE0090-②, HSE0091-①,②
					HSE0093-①,②
		Oeyondo, Boryung	5	Mar. 19, 1993	HSE0114-①,②
					HSE0115-①,②, HSE0116-①
		Daecheonhang, Daecheon	2	Apr. 30, 1993	HSE0154-②,③
			3	May 31, 1993	HSE0115-①,②, HSE0116

Appendix. (continued)

Taxa	Taxon codes	Localities	No. of samples	Collection dates	Specimens
P. suborbiculata f. *suborbiculata*	SUB	Haeundae, Busan	5	Mar. 21, 1993	HSU0010-①,②,③,④,⑤
		Jeongdori, Wando	5	Feb. 7, 1993	HSU0034-①,②,③,④,⑤
		Bigeumdo, Shinan	5	Feb. 14, 1993	HSU0054-①,②,③,④,⑤
		Hwabook, Jejudo	5	Feb. 24, 1993	HSU0089-①,②,③,④,⑤
P. suborbiculata f. *latifolia*	LAT	Mibeop, Hadong	5	Jan. 25, 1993	HSU0141～HSU0143 HSU0144-①,②
		Hoedongri, Jindo	5	Feb. 16, 1993	HSU0035-①, HSU0036-①,② HSU0037-①,②
P. tenera	TEN	Suchi, Jinhae	5	Jan. 24, 1993	HTE0003-①,② HTE0004-①,②,③
		Shinnoryang, Namhae	5	Jan. 15, 1993	HTE0097-①,②,③ HTE0098-①,②
		Modo, Jindo	5	Feb. 26, 1993	HTE0128-①,②,③,④,⑤
		Daecheonhang, Daecheon	5	Mar. 29, 1990	HTE0166～HTE0170
		Deokjeokdo	5	Jun. 5, 1993	HTE0188-①,②,③,④,⑤
P. yezoensis	YEZ	Yeonggeumjeong, Sokcho	5	Feb. 25, 1992	HYE0012-①,②, HYE0013-① HYE0014-①,②
		Gamchusa, Donghae	5	May 29, 1993	HYE0084-①,⑥ HYE0085-①,②,③
		Ganngu, Yeongduk	5	Feb. 26, 1992	HYE0127-①,②,③,⑤,⑦
		Bangeojin, Ulsan	5	Mar. 20, 1993	HYE0163-①,②,③ HYE0164-①,③
		Neungpo, Geoje	5	Apr. 4, 1992	HYE0197-①,② HYE0198-②,③,④
		Shipidongpado	5	May 3, 1993	HYE0215-①,②,③,⑤,⑥