

감태(*Ecklonia cava* Kjellman) 신품종 개발을 위한 양식 개체군과 자연 개체군의 형태 비교

김승오, 허진석, 황은경, 황미숙¹, 이상래², 옥정현^{2,*}

국립수산과학원 수산식품품종관리센터, ¹국립수산과학원 해조류연구센터, ²부산대학교 해양연구소

Morphological comparison between aquaculture and natural populations for development of the new varieties of *Ecklonia cava*

Seung-Oh Kim, Jin Seok Heo, Eun Kyoung Hwang, Mi Sook Hwang¹, Sang-Rae Lee² and Jung Hyun Oak^{2,*}

Aquatic Plant Variety Center, National Institute of Fisheries Science, Mokpo 58746, Republic of Korea

¹Seaweed Research Center, National Institute of Fisheries Science, Haenam 59002, Republic of Korea

²Marine Research Institute, Pusan National University, Busan 46241, Republic of Korea

***Corresponding author**

Jung Hyun Oak
Tel. 051-510-3548
E-mail. oakjh@pusan.ac.kr

Received: 3 December 2019

First Revised: 18 December 2019

Second Revised: 19 December 2019

Revision accepted: 19 December 2019

Abstract: *Ecklonia cava* Kjellman, which has recently gained popularity due to the spread of farming techniques, is expected to be developed in various varieties in the future. There exist increased needs for research on the basis of natural populations and inter-regional morphological variations. We compared the morphology of the aquaculture and natural populations from 16 coastal areas in Korea. The 18 traits found suitable for distinguishing varieties were selected from 14 measurement traits and 4 ratios related to the main morphology and characteristics of primary blade, secondary blade, and stipe. In the cluster analysis, Janggil (E4) and Sorok (S7) showed significant differences from those of the same coastal region. Two groups, including Suyou (Q6, Q8, and Q10) which was the second year of farming, of the rest of the populations from East sea and southern coast were distinguished. Three populations of Jeju were divided into a regional group. In the principal component analysis (PCA), a large number of populations from East sea and Southern coast appeared in the center with aquaculture populations. PC1 and PC2 associated with traits of secondary blade index, stipe length and diameter, stipe length/primary blade length, primary blade length and width, secondary blade number, secondary blade length and width, divided E4, S7 and populations of Jeju region. As a result, the 18 characters of this study were found to be useful as criteria for discrimination of populations with significant differences in each coastal region, and these populations were expected to be candidates for new varieties.

Keywords: *Ecklonia cava*, morphological comparison, cluster analysis, principal component analysis

서 론

감태 (*Ecklonia cava* Kjellman)는 연안 생태계의 바다숲을 구성하는 대형갈조류이고, 1차 생산자로서 다양한 해양 생물의 생육지와 산란장 등으로 중요한 기능을 담당하며 (Bolton and Anderson 1994), 바다숲 복원, 식용 및 기능성 물질의 추출원으로 수요가 크게 증대되고 있다 (Hong *et al.* 2006; Lee *et al.* 2015a, b; Sanjeeva *et al.* 2019).

전 세계적으로 감태 속 해조류는 13종이 분포하고, 국내에는 대황 (*Ecklonia bicyclis* Kjellman; 최근 *Eisenia* 속에서 이전 학명인 감태 속으로 회복됨, Rothman *et al.* 2015), 감태 (*E. cava* Kjellman), 검등감태 (*E. kurome* Okamura) 및 곰피 (*E. stolonifera* Okamura)의 4종이 분포하며, 주로 제주도로부터 남해안과 동해안 남부 일대에 분포한다 (Hwang *et al.* 2013b; Guiry and Guiry 2019). 연안에서 멀리 떨어진 울릉도와 독도에서도 감태의 서식이 확인되었다 (Kang 1966; Kang *et al.* 2001; Lee and Kang 2002). 감태의 형태에 관한 연구는 연안 생태계의 주요 우점종의 생태적 지위와 지역 개체군 간의 변이 양상에 따른 종 내 및 종 간 분류학적 문제 때문에 일찍부터 국내외 여러 연구자에 의하여 수행되어 왔다 (Tsutsui *et al.* 1996; Serisawa *et al.* 2001, 2002a, 2003a; Wernberg *et al.* 2003; Tanaka *et al.* 2007; Levy 2014; Choi *et al.* 2015). 형태 연구와 더불어 감태의 재생과 이식 (Notoya 1997; Serisawa *et al.* 2002b, 2003b, 2004), 형질 특성과 생물량 추정을 위한 형질 상관관계에 관한 연구도 다수 수행된 바 있다 (Lees 2001; Wernberg 2005; Kim *et al.* 2017, 2018). 바다숲 조성과 산업적 이용에 있어 수요 증가에 따라 양식 방법이 개발되었고, 최근 양식 면적과 생산량이 증가하고 있다 (Hwang *et al.* 2010, 2013a, 2013b).

양식 해조류의 경우 생산량의 증대와 효율적 양식을 위해서도 새로운 품종이 개발되어야 하며, 새로운 품종개발을 위해서도 주요 식별 형질의 선정과 품종개발 후보가 되는 다양한 지역 개체군 간의 형태 비교 분석 연구가 필수적이다. 국내 양식산 감태의 경우, 양식 보급 초기에 확보한 모조에서 연속하여 종묘를 생산하는 경우가 많아서 유전적 다양성이 확보되기 어려운 실정이다. 실제로 수산자원 증식을 위한 바다숲 사업이나 복원 사업에서 사용되는 많은 양의 감태들은 특정 양식 어가들을 통하여 확보되고 있어 향후 해조류 질병 발생 시 대처에 어려움이 예상되기도 한다 (Kang 1981; Kim *et al.* 2014; Lee *et al.* 2017). 이러

한 문제에 대처하기 위하여 기존 양식 품종 이외에 다양한 특성을 갖는 자연 개체군에서 모조를 확보하고, 새로운 품종 후보를 발굴할 필요가 있다. 우리나라에서는 2012년부터 해조류 분야 품종보호제도가 시행되고 있으며 이에 따라 김, 미역, 다시마 등 30여 품종의 품종보호권이 출원·등록되고 있다. 감태 역시 활용도가 높아 양식용 신품종 개발의 수요가 높으므로 향후 다양한 형질 특성을 가진 신품종들이 출원될 것으로 기대되고 있다.

따라서 본 연구에서는 양식 개체군과 자연 개체군들 사이의 형태 형질들을 비교 분석하고, 잠재적인 양식 신품종 후보로서 국내 자연 개체군의 형태 변이 양상을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

감태 (*Ecklonia cava*) 개체들은 동해안에서 4개 지역 (울릉군 남양리, 영덕군 대진리, 포항시 방어리, 포항시 장길리), 남해안에서 7개 지역 (부산시 이천리, 통영시 동항리 1, 통영시 동항리 2, 하동군 대도리, 여수시 덕촌리, 여수시 서도리, 고흥군 소록리), 제주도에 5개 지역 (제주시 종달리, 평대리, 신흥리, 광지리, 서귀포시 가파리) 개체군이 2017년 5월부터 2019년 10월에 걸쳐 채집되었고, 비교를 위한 양식 개체군은 전라남도 진도군 진도읍 수유리 양식장에서 2018년 5월부터 2019년 10월까지 1년생과 2년생 감태를 채취하여 조사하였다. 채집 시기가 다른 자연 개체군과의 비교를 위하여 2년생 6월, 8월, 10월 양식 개체군 3개를 선택하여 함께 분석하였다. 총 19개 개체군 286개체들에 대한 형태 분석을 수행하였다 (Fig. 1, Table 1).

형태 분석에 사용된 형질들은 기존 연구들에서 유의성이 확인된 형질들을 중심으로 선별하였다 (Tsutsui and Ohno 1992; Serisawa *et al.* 2002a; Choi *et al.* 2015). 1차엽, 2차엽, 줄기의 주요 형질을 포함한 9개 정량 형질 (quantitative characteristics)과 5개 정성 형질 (qualitative characteristics), 그리고 4개 비율값을 선택하여 총 18개 형질값을 이용하였다 (Fig. 2). 자연 개체군과 양식 개체군을 포함하여 총 19개 개체군에 대하여 *t*-검정 (*t*-test), 일원분산분석 (One-way ANOVA), 군집 분석 (Cluster Analysis)과 주성분 분석 (Principal Component Analysis; PCA)을 실행하였다. 자료의 분석은 통계패키지 SPSS (v.25.0)를 이용하였다.

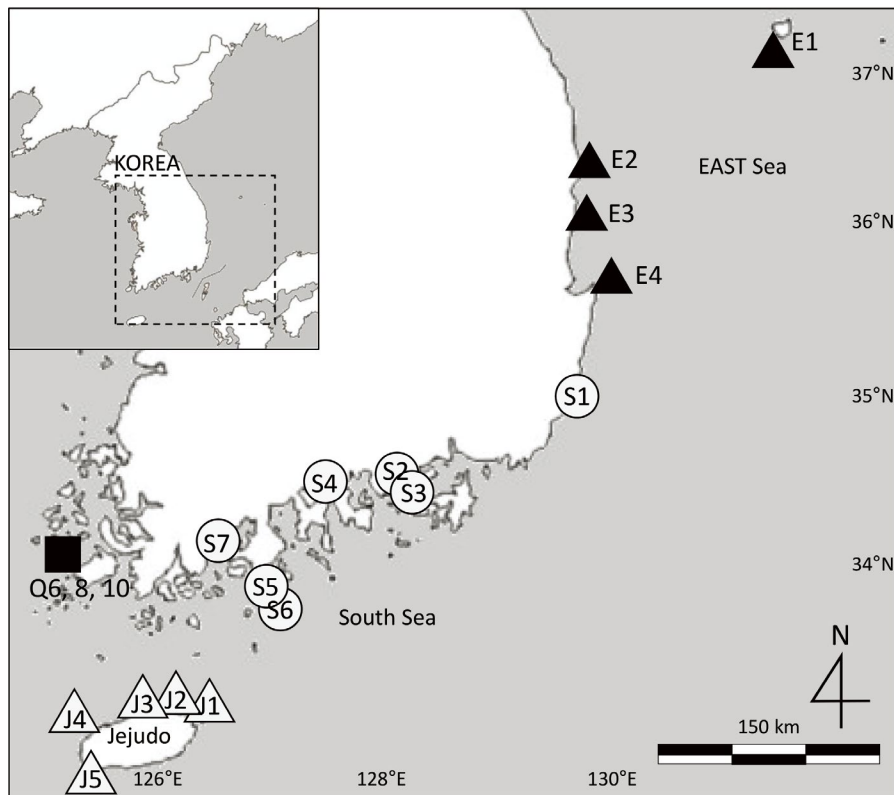


Fig. 1. Map showing 16 localities of natural populations and aquaculture populations from which *Ecklonia cava* was collected in Korea. ▲ East sea, E1. Namyang-ri, E2. Daejin-ri, E3. Bangeo-ri, E4. Janggil-ri; ○ Southern coast, S1. Icheon-ri, S2. Donghang-ri, S3. Donghang-ri, S4. Daedo-ri, S5. Deokchon-ri, S6. Seodo-ri, S7. Sorok-ri; △ Jeju do, J1. Jongdal-ri, J2. Pyongdae-ri, J3. Sinheung-ri, J4. Gwakji-ri, J5. Gapa-ri; ■ Aquaculture bed in Jindo, Q6 (June), Q8 (August), Q10 (October) at Suyou-ri in 2nd year.

Table 1. Sixteen localities and aquaculture populations from where individuals of *Ecklonia cava* were collected in this study

Region Code	Date	Numbers of observed Individuals	GPS
E1	2017-07-26	19	37°27'35.3"N 130°51'23.7"E
E2	2019-06-06	12	36°33'48.5"N 129°25'49.3"E
E3	2017-08-25	15	36°12'30.4"N 129°23'3.2"E
E4	2019-10-19	15	35°57'14.3"N 129°33'2.9"E
S1	2017-07-06	12	35°16'13.3"N 129°15'2.6"E
S2	2018-07-17	19	34°37'8.0"N 128°17'21.0"E
S3	2019-06-01	20	34°37'1.9"N 128°17'58.6"E
S4	2018-06-08	10	34°55'38.5"N 127°50'9.4"E
S5	2018-06-01	16	34°1'8.1"N 127°17'16.3"E
S6	2018-06-01	17	34°3'42.2"N 127°17'27.6"E
S7	2019-05-31	9	34°29'58.1"N 127°6'47.3"E
Q6*	2019-06-28	20	34°31'56.8"N 126°12'7.7"E
Q8*	2019-08-30	20	34°31'56.8"N 126°12'7.7"E
Q10*	2019-10-26	20	34°31'56.8"N 126°12'7.7"E
J1	2019-10-13	10	33°30'11.9"N 126°54'55.1"E
J2	2017-05-18	10	33°32'9.9"N 126°50'33.9"E
J3	2017-05-17	17	33°33'14.7"N 126°39'1.9"E
J4	2019-10-11	15	33°27'1.5"N 126°18'14.4"E
J5	2019-10-12	10	33°10'29.7"N 126°16'19.2"E

*Aquaculture bed in Jindo, Q6 (June), Q8 (August), Q10 (October) at Suyou-ri on 2nd yrs.

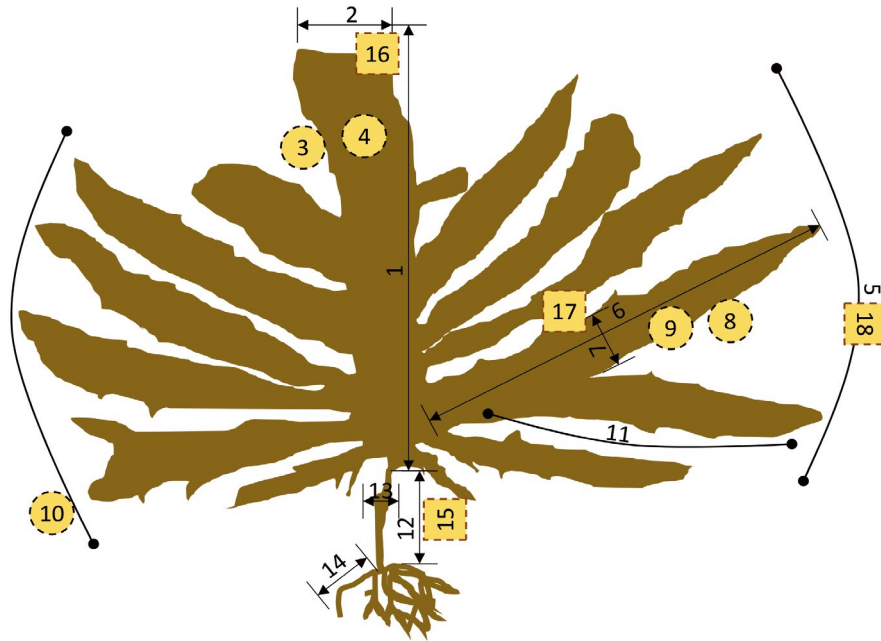


Fig. 2. Diagrammatic illustration of the morphometric characteristics of *Ecklonia cava*. 1. Primary blade length, 2. Primary blade width, 3. Primary blade dentation, 4. The protuberance of the primary blade, 5. The number of secondary blades, 6. Secondary blade length, 7. Secondary blade width, 8. Secondary blade dentation, 9. The protuberance of the secondary blade, 10. Secondary blade development, 11. The number of thirdly blade, 12. Stipe length, 13. Stipe Diameter, 14. Holdfast width, 15. Stipe length/Primary blade length, 16. Primary blade length/Primary blade width, 17. Secondary blade length/Secondary blade width, and 18. Secondary blade Index (10x Number of secondary blades/Primary blade length).

결과 및 고찰

본 연구에서 분석된 감태 16개 자연 개체군들과 3개 양식 개체군들의 외형은 Fig. 3과 같다. 부착기에서 발달한 줄기와 이어지는 1차엽, 양쪽으로 발달한 2차엽의 형태는 지역에 따라 다양한 모습을 보였다. 본 연구와 별도로 형태 발달을 파악하기 위한 양식 개체군의 2년간 월 변화 조사를 수행하였는데, 1년생 개체에서 감태속의 전형적인 어린 유엽은 가이식 후, 본 양식 3~4개월까지 짧은 줄기에서 피침상 또는 장타원형의 1차엽을 형성하였고, 자연 개체군의 성체와 유사한 각 기관의 발달은 본 연구에서 함께 분석한 2년생 개체(Q6, Q8, Q10)에서 확인되었다. 다양한 식별 형질을 모두 확인할 수 없지만, 1년생 유엽의 정상적인 특성은 양식 품종 확인 과정에서 신품종 제안의 근거로 쓰일 수 있어서, 별도로 확인할 필요성이 큰 것으로 판단하였다(Hwang *et al.* 2013a, 2013b).

주요 형질별로 최대값과 최소값, 평균을 비교한 Fig. 4에서 각 형질의 개체군별 차이를 확인할 수 있었다. 1차엽의 길이(primary blade length)와 너비(primary blade width)

비교에서 동해 대진(E2), 남해 동항(S2, S3), 대도(S4; t -test, $t = -6.78$, $p < 0.001$)와 소록(S7; t -test, $t = -4.17$, $p < 0.001$)에서 뚜렷한 차이를 확인할 수 있었다. 2차엽 길이(secondary blade length)와 너비(secondary blade width)는 동해의 장길(E4; t -test, $t = -10.00$, $p < 0.001$, $t = -7.27$, $p < 0.001$), 남해의 소록(S7; t -test, $t = -9.52$, $p < 0.001$, $t = -8.89$, $p < 0.001$), 제주의 종달(J1)에서 커다란 값을 보였다. 1차엽과 2차엽의 크기는 상관관계를 보였으나, 일부 개체군의 경우 비례하여 일치하지는 않았다(Fig. 4A~D). 1차엽 길이/너비(primary blade length/primary blade width)는 대부분 3~5의 범위를 갖는 장타원형을 이루는 것으로 나타났었고, 남해의 동항(S2)에서 5.6으로 조금 더 길거나, 제주의 종달(J1)과 가파(JS)에서 다소 짧은 모양을 보였다. 2차엽 길이/너비(secondary blade length/secondary blade width)는 4~5의 범위로 1차엽보다는 다소 긴 모양을 보였고, 동해의 장길(E4; t -test, $t = -2.43$, $p = 0.02$), 남해의 덕촌(S5), 제주의 종달(J1), 평대(J2)와 가파(JS)에서 다소 긴 모양을 보였다(Fig. 4E, F).

2차엽 수(number of secondary blade)는 1차엽에서 큰

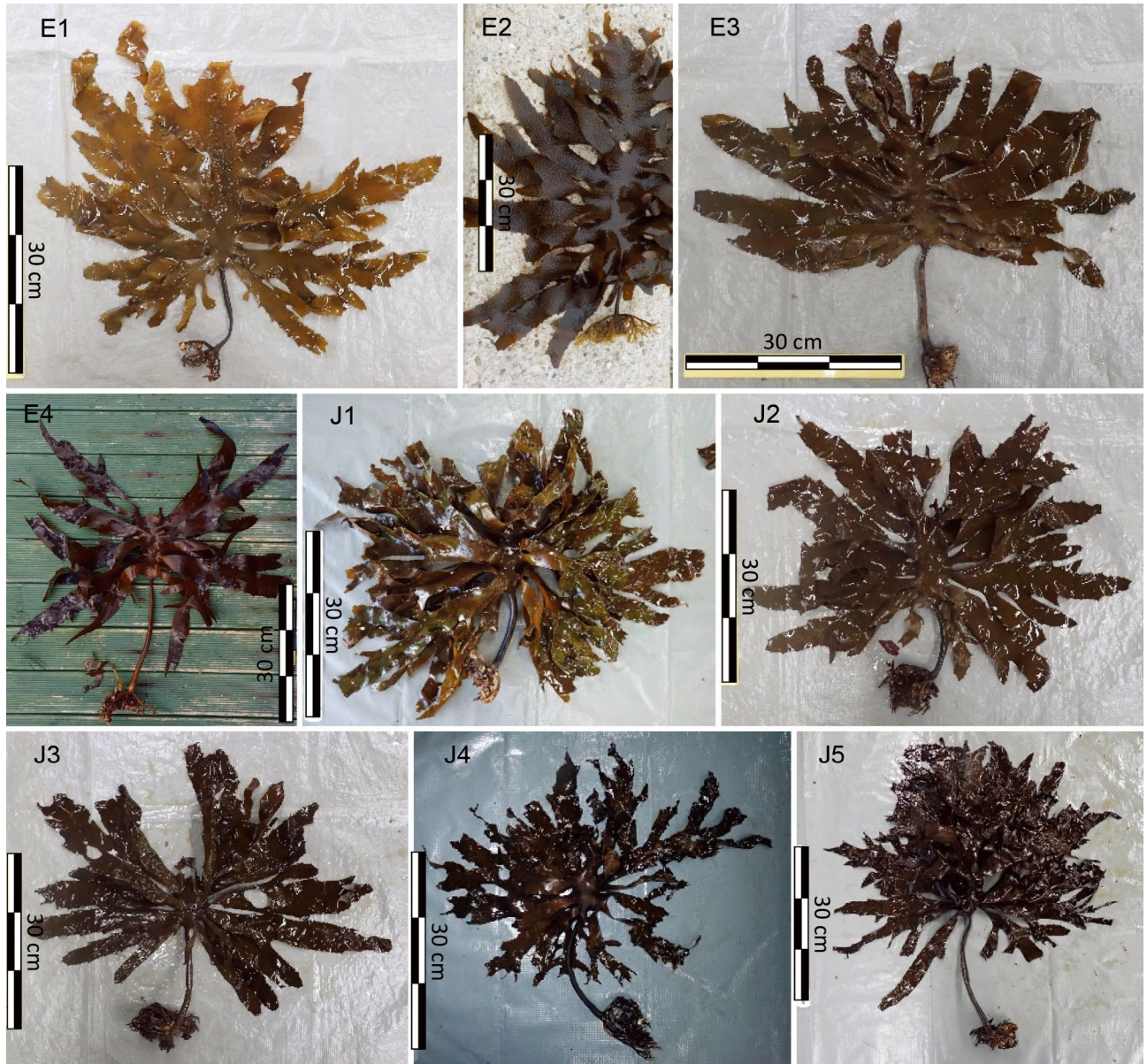


Fig. 3. Representative morphological features of *Ecklonia cava* from 16 localities and aquaculture populations in this study. East sea, E1. Namyang-ri, E2. Daejin-ri, E3. Bangeo-ri, E4. Janggil-ri; Jejudo, J1. Jongdal-ri, J2. Pyongdae-ri, J3. Sinheung-ri, J4. Gwakji-ri, J5. Gapa-ri.

값을 보였던 동해의 대진(E2), 남해의 동항(S2, S3), 대도(S4; t -test, $t = -2.78$, $p = 0.01$)와 소록(S7; t -test, $t = -1.78$, $p = 0.09$)에서 많은 수를 나타내었고, 제주의 종달(J1)에서도 큰 값을 보였다(Fig. 4G). 1차엽의 일정 길이에 대한 2차엽 수를 표시하는 2차엽 지수(SBI, 10x number of secondary blade/primary blade length)에서는 제주의 개체군들이 큰 값을 보여 2차엽이 더 조밀하게 발달하는 양상을 확인할 수 있었다(Fig. 4H).

줄기 길이(stipe length)와 직경(stipe diameter)은 동해의 방어(E3)와 장길(E4; t -test, $t = -8.63$, $p < 0.001$, $t = -10.95$, $p < 0.001$), 제주 종달(J1), 신흥(J3; t -test, $t = -5.23$, $p < 0.001$, $t = -8.01$, $p < 0.001$), 광지(J4)와 가파(J5)에서 큰 값을 보이고, 남해의 이천(S1)을 제외한 나머지 지점에서 낮은 값을 보여 줄기와 1차엽의 외형을 반영하였고(Fig. 4I, J), 줄기 길이/1차엽 길이(stipe length/primary blade length)에서도 제주 지역 개체군들과 뚜렷한 차이를

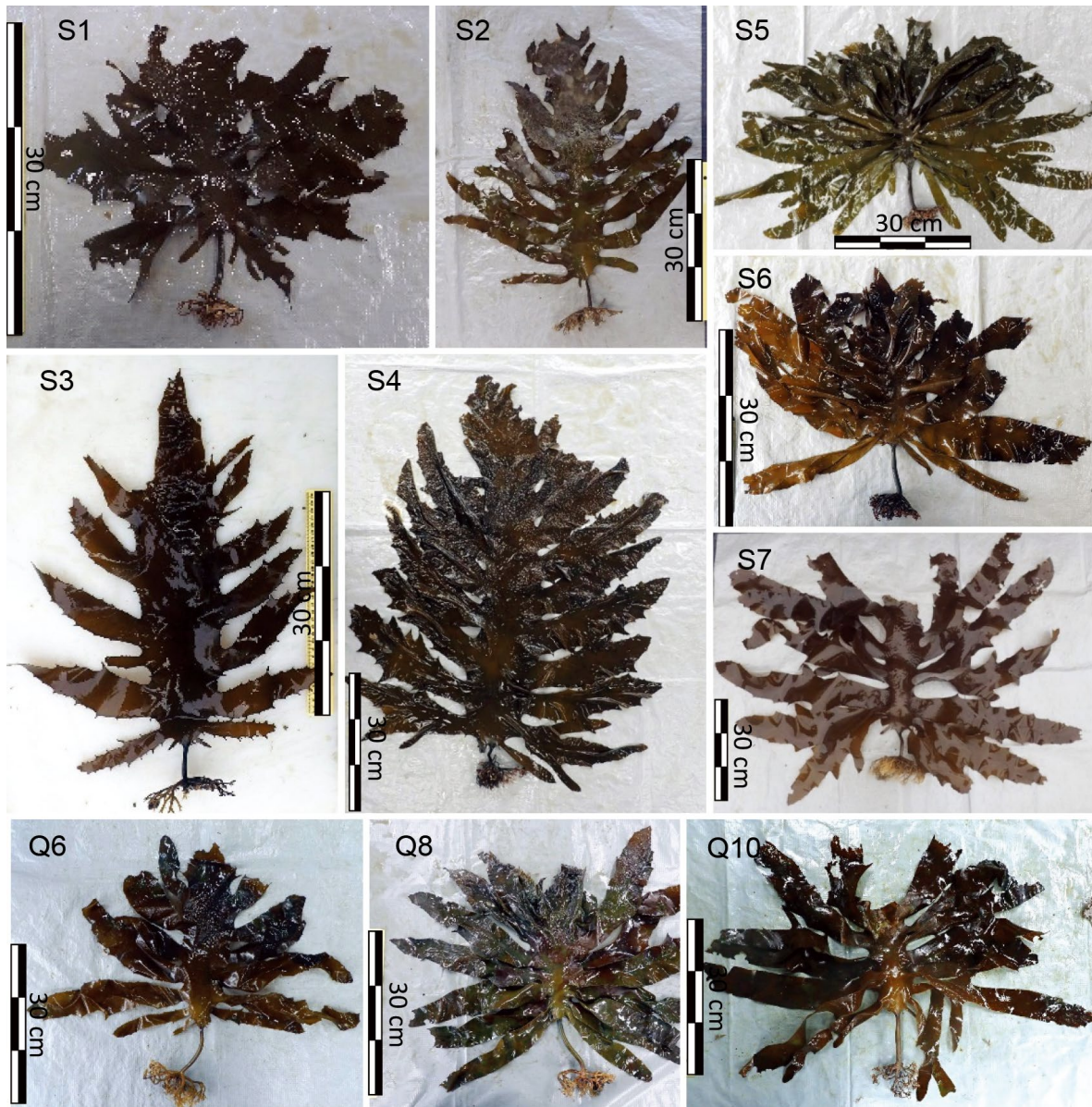


Fig. 3. Continued. Southern coast, S1. Icheon-ri, S2. Donghang-ri, S3. Donghang-ri, S4. Daedo-ri, S5. Deokchon-ri, S6. Seodo-ri, S7. Sorok-ri; Aquaculture bed in Jindo, Q6 (June), Q8 (August), Q10 (October) at Suyou-ri in 2nd year.

나타내었다(Fig. 4K). 1차엽과 2차엽의 가장자리에서 발달하는 거치(dentation)와 엽면의 주름 무늬(protuberance)는 개체군 내에서도 변이가 크게 보이는 형질이어서 개체군 간의 유의한 비교는 어려웠다.

감태의 형질에 관한 국내외 연구에서 지리적 분포에 따른 개체군의 변이 양상은 다양한 측면으로 조사되었다. 대형갈조류로 부착기에서 줄기가 자란 후 1차엽과 2차엽을 형성하는 감태는 이러한 복잡한 구조와 관련된 다수의 형

태 형질이 분류학이나 생태학 연구에 이용된다. 위에서 언급된 다양한 형질들은 상관관계가 뚜렷한 예도 있으나, 지리적 차이나 환경적 요인의 변화가 같은 양상으로 나타나지는 않는다. 호주와 뉴질랜드의 *E. radiata*의 지리적 분포에 따른 개체군 변이 연구에서도 개별 형태 형질은 유의한 연관 관계가 없이 독립적으로 발현되었고, 이는 다양한 요소에 영향을 받은 결과로 해석되었다(Wernberg *et al.* 2003). 일본 중부에서 지역 개체군 간 형질을 비교한 결

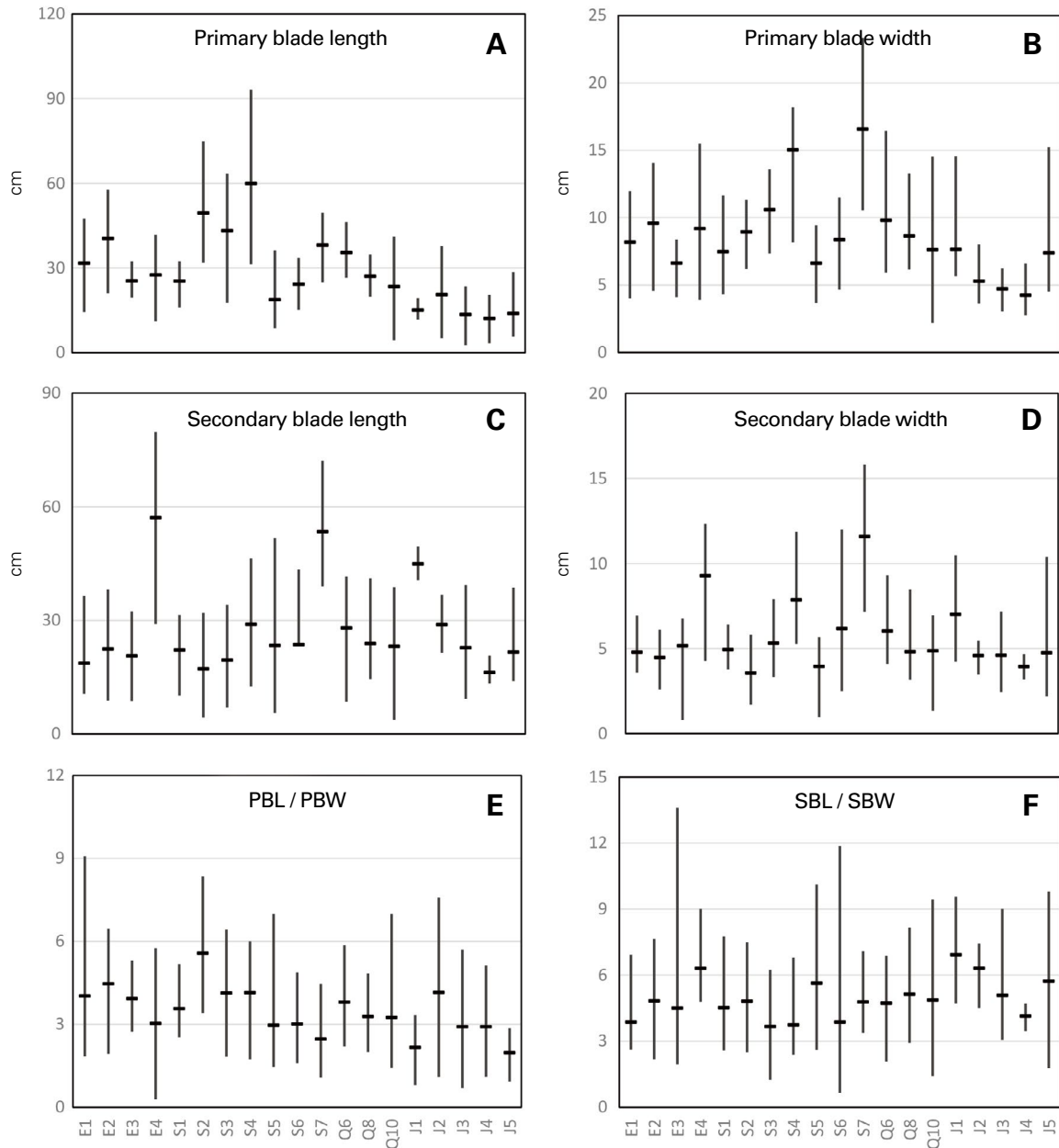


Fig. 4. Comparisons of maximum, minimum and mean value of each characteristic from 19 populations in this study. A. Primary blade length, B. Primary blade width, C. Secondary blade length, D. Secondary blade width, E. Primary blade length/Primary blade width (PBL/PBW), and F. Secondary blade length/Secondary blade width (SBL/SBW).

과, 개체의 크기는 주로 줄기 길이와 연관되고, 1차엽의 길이는 줄기 길이와 연관이 없으며, 1차엽에서 발달하는 2차엽 수에서 유의한 차이를 보이지 않았다 (Serisawa *et al.* 2002a). 줄기 길이는 수온과 역상관으로, 따뜻한 남쪽 지점에서 짧은 줄기를 가지며 이는 기존 연구와 유사한 경향으로 확인되었다. 1차엽 주름 (wrinkled primary blades or bladelets)의 깊이 (depth) 정도 (shallow or deep)는 감태

(*E. cava*)와 근연종 검둥감태 (*E. kurome*)를 구분하는 식별 형질로 사용된 바 있다 (Okamura 1936). 조사 지점 중 따뜻한 곳에서 어린 감태의 유체에 얇은 주름으로 나타났다가 성장하면서 평평하게 변화되었고, 이러한 주름은 검둥감태의 깊고 영속적인 주름과 구분되며 환경요인에 따라 나타나는 특성으로 판단하였다. 주름 형태 변이가 형태형 (morphotypes) 간의 유전적 차이 (genetic differences)인지

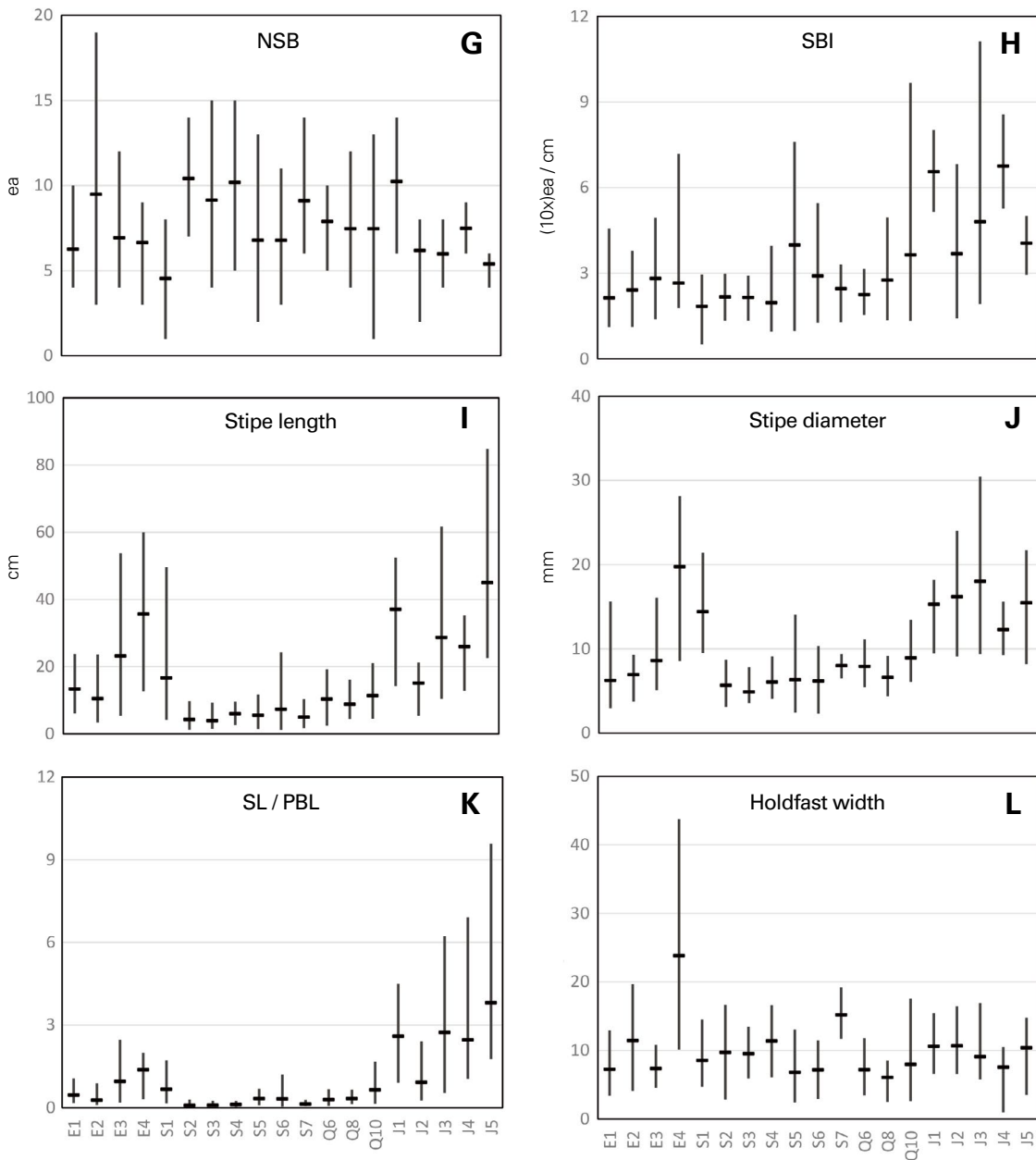


Fig. 4. Continued. G. Number of the secondary blades (NSB), H. Secondary blade index (SBI, 10x Number of Secondary blade/Primary blade length), I. Stipe length, J. Stipe Diameter, K. Stipe length/Primary blade length (SL/PBL), and L. Holdfast width.

혹은 감태속의 종 분류와 연관성이 있는지는 추가 연구의 필요성을 제시하였다(Serisawa *et al.* 2002a). 이들 연구진은 일본 중부 Izu 반도에서 이식 실험도 진행하였는데, 긴 줄기의 동북쪽 Nabeta 지점 개체들이 짧은 줄기의 개체가 생육하는 남쪽 Nakagi 지점에 옮겨진 후에도 길이 변화가 없는 것을 확인하고, 줄기의 길이가 환경요인의 영향에 따라 변화가 없는 유전적 형질임을 확인하였다(Serisawa *et al.*

2003b).

국내의 해역별 개체군을 비교한 연구에서는 형태적으로 짧은 줄기를 갖는 남해의 여수, 매물도 개체군과 긴 줄기를 갖는 동해안의 고리, 왕돌초, 독도, 제주도의 문섬 개체군, 2개 그룹을 형성하였다. 1차엽의 길이와 너비는 줄기 길이와 연관성이 뚜렷하지 않은 양상으로 본 연구보다 다소 큰 값을 나타내었고, 1차엽 길이/너비는 2 전후로 타원

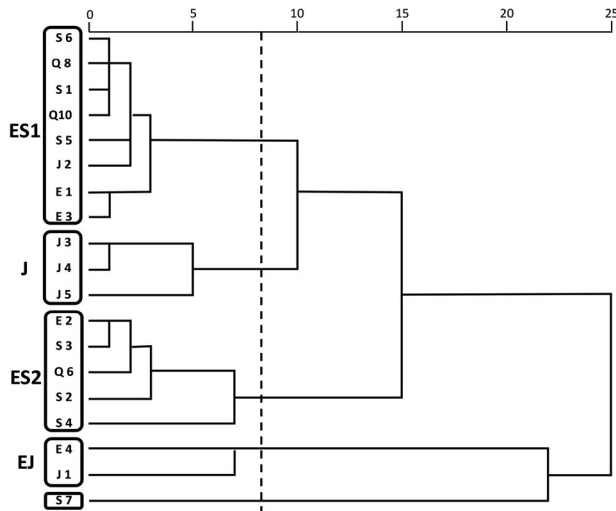


Fig. 5. Cluster analysis for *Ecklonia cava* populations based on 18 quantitative morphological variables (Fig. 4). Each point represents a single population. Bold lines indicate groups (ES1, J, ES2, EJ, S7 @Table 1) identified from resemblance levels (distance=8). *Aquaculture bed in Jindo, Q6 (June), Q8 (August), Q10 (October) at Suyou-ri in 2nd year.

형에 가까운 모양을 보였다. 2차엽 길이/너비는 6 전후로 다소 긴 모양을 보이고, 2차엽 수는 동해안과 제주 개체군에서 큰 값을 보였다(Choi *et al.* 2015).

본 연구에서 줄기의 길이는 동해안과 제주 개체군에서 유의한 차이로 큰 값을 보였고(Fig. 4I; ANOVA, $F=26.40$, $p<0.01$). 1차엽은 좀 더 긴 장타원형으로, 2차엽은 유사한 피침상으로 조사되었다(Fig. 4E, F; ANOVA, $F=7.96$, $p<0.01$, $F=3.29$, $p<0.01$). 2차엽 수에서 작은 값을 보였던 제주 개체군은 2차엽 지수에서 큰 값을 나타내어 다소 다른 양상을 보였다(Fig. 4G, H; ANOVA, $F=4.07$, $p<0.01$). 기존 연구에서 2차엽에서 길이와 수 이외의 형질에 주목한 경우는 많지 않은데, 일본의 검동감태에서 조사되었던 2차엽 지수의 경우 1차엽의 형질과 독립적인 변수로 향후 품종 구분을 위한 형질에 추가될 필요가 있는 것으로 판단되었다(Tsutsui and Ohno 1992; Tsutsui *et al.* 1996). 한편 줄기 길이와 직경은 동해안과 제주 개체군에서 큰 값을 보여 유사한 경향으로 나타났다. 기존 연구는 각 해역의 1, 2개 개체군을 대상으로 6개 개체군을 비교하였지만 19개 개체군을 비교한 본 연구와 유사한 경향으로 나타났다, 뚜렷한 차이를 보인 개체군(E4, S7, J1)들은 이들과도 유의한 차이를 보여 국내 각 해역에서 변이가 뚜렷한 개체군 존재의 가능성을 확인할 수 있었다.

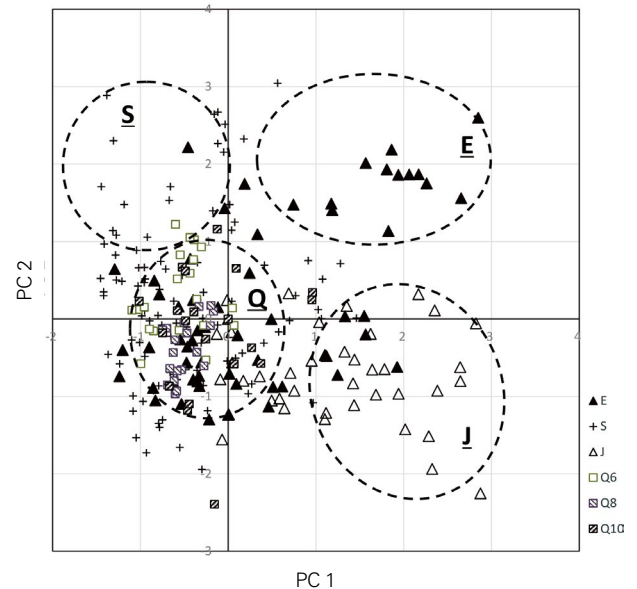


Fig. 6. Two dimensional PCA analysis of 18 morphological variables. PC1 accounts for 24.2% of the total variance and PC2 accounts for 17.6%. Dotted lines indicate distinguished populations from each region (E, East Sea; S, Southern coast; J, Jeju; Q, Aquaculture bed in Jindo); Q6 (June), Q8 (August), Q10 (October) at Suyou-ri in 2nd year.

형질 분석을 통하여 확인한 값들을 이용한 군집 분석의 결과는 Fig. 5와 같다. 18개의 형질값을 이용하여 분석한 결과 유사도 지수 8에서 5개의 집단으로 구분되었는데, 2년생 양식 개체군 수유(Q8, Q10)는 각 형질의 발달이 뚜렷하여 유사한 크기의 동해, 남해와 제주 개체군들과 함께 집단 ES1으로 묶였다. 동해의 장길(E4), 남해의 소록(S7)은 각각 동일 지역의 개체군들과 2차엽과 줄기의 형질값에서 유의한 차이를 보이며 집단 EJ, S7으로 구분되어 묶였다(Figs. 3, 4). 동해의 대진(E2), 남해의 동향(S2, S3)과 대도(S4)는 집단 ES2를 이루었고, 제주의 신흥(J3), 괏지(J4)와 가파(J5)는 별도의 집단 J를 이루어 지역적으로 구분되었다.

형질 분석 결과를 이용한 주성분 분석(PCA)에서 주성분 1(PC1)과 주성분 2(PC2) 값으로 나타난 개체들의 위치는 Fig. 6과 같다. 양식 2년생인 수유(Q6, Q8, Q10)는 군집 분석에서 집단 ES1, ES2로 묶인 동해, 남해와 제주 개체군들과 함께 Q구역에 모여 나타났고, 중앙에 대부분 분포하였다. Fig. 6의 중앙부 Q 구역과 구분된 개체군 중, 동해안 개체군(E, E4)은 1차엽과 2차엽의 크기가 크고, 2차엽 수가 많으며, 줄기의 길이와 직경이 큰 특성을 나타내

Table 2. Eigenvector values of variables making up the first three PC's from PCA analysis of *Ecklonia cava* from 16 localities and aquaculture populations in this study

	PC 1	PC 2	PC 3
Primary blade length (PBL)	-0.609	0.548	-0.317
Primary blade width (PBW)	-0.398	0.570	0.414
Primary blade dentation	-0.341	-0.019	0.314
Protuberance of primary blade	-0.486	0.207	0.437
Number of secondary blade (NSB)	-0.122	0.550	-0.556
Secondary blade length (SBL)	0.501	0.764	0.058
Secondary blade width (SBW)	0.187	0.696	0.369
Secondary blade dentation	-0.127	0.388	-0.028
Protuberance of secondary blade	0.006	0.331	0.292
Secondary blade development	0.034	-0.002	0.186
Number of thirdly blade	0.331	0.496	0.082
Stipe length (SL)	0.829	0.023	-0.002
Stipe diameter	0.819	0.000	-0.033
Holdfast width	0.509	0.642	-0.003
SL/PBL	0.827	-0.245	0.100
PBL/PBW	-0.363	0.203	-0.744
SBL/SBW	0.477	0.285	-0.376
Secondary blade index (10x NSB/PBL)	0.619	-0.182	-0.092

었다. 남해안 개체군(S, S4와 S7)의 경우, 1차엽과 2차엽의 크기가 크지만, 2차엽 지수는 작고, 줄기의 길이와 직경이 작은 특성을 나타내었다. 제주 개체군(J, J3)은 1차엽과 2차엽의 크기가 작고, 2차엽 지수가 크며, 줄기의 길이와 직경이 큰 특성을 나타내었다. 주성분 1은 24.2%, 주성분 2는 17.6%, 주성분 3은 10.3%의 분산을 점유하여, 이들에 의해 총분산의 52.1%가 표현되었다. 주성분 1과 높은 eigenvector 값을 보인 형질은 1차엽 길이, 줄기의 길이와 직경, 줄기 길이/1차엽 길이, 2차엽 지수였고, 주성분 2와는 2차엽 길이와 너비, 부착기 너비였으며, 주성분 3은 1차엽 길이/1차엽 너비에서 높은 eigenvector 값을 보였다 (Table 2).

Choi *et al.* (2015)에서도 감태의 군집 분석과 다차원적 도법을 수행하였는데, 각 형질값에서 보이는 경향이 반영되어 집단의 분포가 본 연구와 유사하게 나타났다. 군집 분석에서 남해와 동해 개체들이 다수 집단을 이루고, 제주도는 별도 집단을 이루었으며, 다차원적도법에서도 PCA 결과와 마찬가지로 동해와 제주도 개체들이 모여 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 형태학적 연구에서 관찰된 결과를 분자생물학적 방법론과 비교하는 시도가 최근 이뤄지고 있는데, Choi *et al.* (2015)은 RAPD 기법을 적용한 결과에서 개체군별로 묶여 나타나는 경향을 확인한 바 있었다. 일본 Wakayama 지방의 7개 지점에서 종별 분류학적 범위를 확인하기 위한 감태와 검등감태의 연구에서 형태 형질과 엽기서열을 비교하는 연구가 수행된 바 있다(Tanaka *et al.*

2007). 1차엽의 엽면 주름과 형질 비교에서 일부 지점의 개체군에서 뚜렷하게 두 종이 갈리지 않는 경우가 있었고, 핵 유전자인 ITS-1 부위, 엽록체 유전자인 Rubisco spacer 구간의 엽기서열을 비교한 결과 작은 차이만을 보여 감태 속의 두 종에 대한 추가적인 분류학적 검토가 필요한 것으로 언급하였다. 남아프리카의 감태속의 근연종 *E. maxima*와 *E. radiata*는 같은 지점에서 생육하는 군락에서 형태적으로 중간형이 출현하기도 한다(Levy 2014). 남아프리카공화국에서 수행된 이들 근연종에 관한 형태분류학적 연구에서 분명한 종 간 구분이나 잡종 발생 여부의 확인을 위한 분자생물학적 방법론 도입의 필요성이 제시되었다.

본 연구에서 수행된 18개 형태 형질을 이용한 형질 비교와 수리분류학적 접근은 각 해역에서 유의한 차이를 보이는 개체군 구분을 위한 기준으로 유용성이 확인되었으며, 양식 개체군과의 비교에서 이러한 차이는 채집 시기에 따른 변이 폭을 넘어서는 것으로 파악되었다. 16개 자연 개체군에서 확인된 개체군 변이는 감태속의 종 간을 포함하여 지역 간에 다양한 양상으로 존재할 것으로 판단되었고, 그 변이양상에 대한 환경 및 생리적 분석, 유전적 다양성 조사의 필요성도 요구되었다(Tanaka *et al.* 2007). 현재 시행 중인 품종보호제도 체제 내에서는 형태적 특성을 중심으로 품종을 구분하고 있음을 고려할 때, 이들 지역 개체군은 향후 신품종 개발 후보 종으로 가능성이 클 것으로 기대되었다.

적 요

최근 양식기법이 보급되어 어가의 양식이 활발해진 감태 (*Ecklonia cava* Kjellman)는 향후 다양한 품종개발이 예상되고, 이들의 구분을 위한 신품종 심사기준(특성조사요령) 작성과 기초자료가 되는 자연 개체군의 변이 폭과 지역적 형태 변이에 관한 연구 필요성은 더욱 커지고 있다. 본 연구는 감태 양식 개체군과 국내 연안 16개소에서 채집한 자연개체군의 형태를 비교하고, 주요 형태 형질의 특성과 변이 폭을 규명하고자 하였다. 감태의 품종 구분에 적합한 형질은 1차엽과 2차엽, 줄기에 대한 주요 형태와 특징에 관한 14개 측정 형질과 4개 비율 형질, 총 18개 특성을 선정하였다. 군집 분석에서 전체 19개 개체군 중, 자연 개체군인 장길(E4), 소록(S7)은 동일 지역 개체군들과 유의한 차이를 보였고, 동해와 남해의 나머지 자연 개체군은 양식 2년생인 수유(Q6, Q8, Q10)를 포함한 2개 집단으로 구분되었고, 제주의 3개 개체군은 별도의 집단을 이루어 지역적으로 구분되었다. 주성분 분석에서도 군집 분석에서 집단을 이룬 동해와 남해 개체군을 중심으로 양식 개체군은 중앙에 모여 나타났고, 장길(E4), 소록(S7)과 제주 개체군들은 주성분 1(PC1)과 주성분 2(PC2)에 연관된 2차엽 지수, 줄기의 길이와 직경, 줄기 길이/1차엽 길이, 1차엽 길이와 너비, 2차엽 수, 2차엽 길이와 너비의 형질에 의해 각 축에 따라 구분되어 나타났다. 이상의 결과로 본 연구에서 조사한 18개 형질은 각 해역에서 유의한 차이를 보이는 개체군 구분을 위한 기준으로 유용성이 확인되었으며, 감태의 각 지역 개체군은 향후 신품종 개발 후보 종으로 가능성이 클 것으로 기대되었다.

사 사

연구 기간 중 표본 채집에 큰 도움을 주신 서태호 박사 와 김현수 다이버에게 감사드립니다. 본 연구는 국립수산과학원의 연구비 지원(R2019009, P2019028)으로 수행되었습니다.

REFERENCES

Bolton JI and RJ Anderson. 1994. *Ecklonia*. pp. 385-406. In

Biology of Economic Algae, Akatsuka I (eds.). The Hague: Academic Publishing.

Choi DM, YW Ko, RS Kang and JH Kim. 2015. Morphological and genetic variability among *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyceae) populations in Korea. *Algae* 30:89-101.

Guiry MD and GM Guiry. 2019. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; searched on 01 December 2019.

Hong JH, BS Son, BK Kim, HY Chee, KS Song, BH Lee, HC Shin and HC Lee. 2006. Antihypertensive effect of *Ecklonia cava* extract. *Korean J. Pharmacol.* 37:200-205.

Hwang EK, IK Hwang, EJ Park, YG Gong and CS Park. 2013a. Cultivation technique of *Ecklonia cava* Kjellman for restoration of natural resources. *Korean J. Environ. Biol.* 31:347-352.

Hwang EK, YG Gong, DS Ha and CS Park. 2010. Nursery and main culture conditions for mass cultivation of the brown alga, *Ecklonia cava* Kjellman. *Korean J. Fish. Aquat. Sci.* 43:687-692.

Hwang EK, YG Gong, IK Hwang, EJ Park and CS Park. 2013b. Cultivation of the two perennial brown algae *Ecklonia cava* and *E. stolonifera* for abalone feeds in Korea. *J. Appl. Phycol.* 25:825-829.

Kang JW. 1966. On the geographical distribution of marine algae in Korea. *Bull. Pusan Fish. Coll.* 7:1-125.

Kang JW. 1981. Some seaweed diseases occurred at seaweed farms along the South-Eastern coast of Korea. *Bull. Korean Fish. Soc.* 14:165-170.

Kang RS, KS Won, KP Hong and JM Kim. 2001. Population studies on the kelp *Ecklonia cava* and *Eisenia bicyclis* in Dokdo, Korea. *Algae* 16:209-215.

Kim GH, KH Moon, JY Kim, J Shim and TA Klochkova. 2014. A reevaluation of algal diseases in Korean *Pyropia* (*Porphyra*) sea farms and their economic impact. *Algae* 29:249-265.

Kim S, SH Youn, HJ Oh, SK Choi, YH Kang, TH Kim, HJ Lee, KS Choi and SR Park. 2018. Stipe length as an indicator of reproductive maturity in the kelp *Ecklonia cava*. *Ocean Sci. J.* 53:595-600.

Kim S, YH Kang, TH Kim, HJ Lee and SR Park. 2017. Use of morphological characteristics for calculating individual biomass in the kelp *Ecklonia cava*. *J. Appl. Phycol.* 29:2587-2593.

Lee JH, JY Ko, JY Oh, EA Kim, CY Kim and YJ Jeon. 2015a. Evaluation of phlorofuco-furoeckol-A isolated from *Ecklonia cava* (Phaeophyta) on anti-lipid peroxidation in vitro and in vivo. *Algae* 30:313-323.

Lee SH, SM Kang, CH Sok, JT Hong, JY Oh and YJ Jeon. 2015b. Cellular activities and docking studies of eckol isolated from *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyceae) as potential tyrosinase inhibitor. *Algae* 30:163-170.

Lee SJ, BY Jee, MH Son, MH and SR Lee. 2017. Infection and

- cox2 sequence of *Pythium chondricola* (Oomycetes) causing red rot disease in *Pyropia yezoensis* (Rhodophyta) in Korea. *Algae* 32:155–160.
- Lee Y and SY Kang. 2002. A Catalogue of the Seaweeds in Korea. Jeju National University Press. Jeju, Korea.
- Lees HR. 2001. The demography and interactions of *Ecklonia radiata* in Southern New Zealand. PhD thesis. University of Canterbury. Christchurch, New Zealand.
- Levy S. 2014. How reliable is morphological species delimitation in kelp? A study of two closely related South African *Ecklonia* species. PhD Thesis. University of Cape Town. Cape Town, South Africa.
- Notoya M. 1997. Chloroplast changes and differentiation of callus cells in *Eckloniopsis radicata* (Kjellman) Okamura (Phaeophyta, Laminariales). *J. Appl. Phycol.* 9:175–178.
- Okamura K. 1936. Nippon Kaiso-Shi (Marine Algae Flora of Japan). Uchida Rokakuho Publishing Co. Tokyo, Japan. pp. 269–272.
- Rothman MD, L Mattio, T Wernberg, RJ Anderson, S Uwai, MB Mohring and JJ Bolton. 2015. A molecular investigation of the genus *Ecklonia* (Phaeophyceae, Laminariales) with special focus on the southern hemisphere. *J. Phycol.* 51:236–246.
- Sanjeeva KKA, IPS Fernando, SY Kim, WS Kim, G Ahn, Y Jee and YJ Jeon. 2019. *Ecklonia cava* (Laminariales) and *Sargassum horneri* (Fuciales) synergistically inhibit the lipopolysaccharide-induced inflammation via blocking NF- κ B and MAPK pathways. *Algae* 34:45–56.
- Serisawa Y, H Akino, K Matsuyama, M Ohno, J Tanaka and Y Yokohama. 2001. Comparison in biomass, density and age composition of *Ecklonia cava* populations in two localities with different temperature conditions. *Suisanzoshoku* 49:9–14.
- Serisawa Y, H Akino, K Matsuyama, M Ohno, J Tanaka and Y Yokohama. 2002a. Morphometric study of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta) sporophytes in two localities with different temperature conditions. *Phycol. Res.* 50:193–199.
- Serisawa Y, H Muizakami, J Tanaka, M Aoki, Y Sakanishi, T Hirata, T Misonou and Y Yokohama. 2003a. Characteristics of the population of the brown algae, *Ecklonia cava* and *Eisenia bicyclis* growing in different depths off Touji, Shimoda, Shizuoka Prefecture, Japan. *Suisanzoshoku* 51:287–294.
- Serisawa Y, M Aoki, T Hirata, A Bellgrove, A Kurashima, Y Tsuchiya, T Sato, H Ueda and Y Yokohama. 2003b. Growth and survival rates of large-type sporophytes of *Ecklonia cava* transplanted to a growth environment with small-type sporophytes. *J. Appl. Phycol.* 15:311–318.
- Serisawa Y, Y Yokohama, Y Aruga and J Tanaka. 2002b. Growth of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta) sporophytes transplanted to a locality with different temperature conditions. *Phycol. Res.* 50:201–207.
- Serisawa Y, Y Yokohama, Y Aruga and A Bellgrove. 2004. Photosynthetic performance of transplanted ecotypes of *Ecklonia cava* (Laminariales, Phaeophyta). *J. Appl. Phycol.* 16:227–235.
- Tanaka T, M Yamauchi, M Notoya, H Kimura and N Yotsukura. 2007. The morphological diversity and the genetic variation of *Ecklonia cava* and *E. kurome* (Laminariales, Phaeophyta) sporophytes collected along the coasts of Wakayama Prefecture. *Aqua. Sci.* 55:1–8.
- Tsutsui I and M Ohno. 1992. Growth, maturation and seasonal changes in morphological characteristics of *Ecklonia kurome* at Shirahama, Wakayama Prefecture. *Jpn. J. Phycol.* 40:39–46.
- Tsutsui I, S Arai, T Terawaki and M Ohno. 1996. A morphometric comparison of *Ecklonia kurome* (Laminariales, Phaeophyta) from Japan. *Phycol. Res.* 44:215–222.
- Wernberg T. 2005. Holdfast aggregation in relation to morphology, age, attachment and drag for the kelp *Ecklonia radiata*. *Aqua. Bot.* 82:168–180.
- Wernberg T, M Coleman, A Fairhead, S Miller and M Thomsen. 2003. Morphology of *Ecklonia radiata* (Phaeophyta: Laminariales) along its geographic distribution in south-western Australia and Australasia. *Mar. Biol.* 143:47–55.