

전남 고흥 양식 다시마의 양적형질에 대한 통계적 분석

Statistical Analysis of Quantitative Traits of *Saccharina japonica* cultured in Goheung, Jellanam-do

윤영성

Y. S. Yun
통계청¹

dasom01@korea.kr

김철원

C. W. Kim
국립한국농수산대학
수산양식학과²

aquaworld@korea.kr

최성제*

S. -J. Choi
국립한국농수산대학
수산양식학과²

csjchoi@korea.kr

Abstract

Growth tests on the Wando and Baengnyeongdo cultivars of *Saccharina japonica* were performed at the Myeongcheon and Gyedo aquafarms, Goheung in Jeollanamdo, from February to July in 2003. Five environmental conditions and 2 traits were measured monthly. The data were used to analyze the growth patterns, relationships between traits and principal component. Box plots were used to display the growth patterns. Scatter plots and regression and correlation coefficients were used to determine the strength of relationships between the traits. A principal component analysis revealed that the first principal component explained more than 91.4% and 90.5% of the total sample variance in the Myeongcheon and Gyedo aquafarms. From the viewpoint of the economic traits (blade length, blade weight), the growth of populations from the Gyedo aquafarm was stronger than that of those from the Myeongcheon aquafarm, and the growth of the Baengnyeongdo cultivar was superior to that of the Wando one.

Key Words : *Saccharina japonica*, Phaeophyta, Cultivar, Aquafarm, Quantitative trait

* 교신저자

1 Statistics Korea, Government Complex-Daejeon, 189 Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon 35208, Republic of Korea

2 Department of Aquaculture, Korea National College of Agriculture and Fisheries, Jeonju 54874

I. 서론

다시마(*Saccharina Japonica*)는 갈조식물문 다시마과 다시마속에 속하는 냉수성 해조류로서 세계적으로 약 30종(Kain, 1991) 분포하고, 북반구에서 온대지역까지 서식하고 있다(Peteiro and Freire 2013). 다시마는 육안적인 포자체 세대(2n)와 현미경적 배우체 세대(n)로 이형세대교번하는 생활사를 가지는데, 보통 봄에서 여름까지 성장하고 가을이 되면 엽체 중간 부분에서 자낭반이 발달하고 유주자가 방출되어 기질에 부착하게 된다(堀, 1993).

다시마 연구는 성장 및 형태적 변이(공, 1993), 초기 포자체 발달(Lee, 1992), 미세구조(정, 1990), 성장과 생산(강과 고, 1999), 분자 분류(Boo and Yoon, 2000), 착생 생물(Park and Hwang, 2012; Kim et al., 2017), 바이오에탄올(Jang et al., 2012; 정 등, 2015), 양식(Lee et al., 2005; 장 등, 2016) 등이 보고되고 있다.

다시마는 우리나라 주요 양식 대상으로 경제적으로 중요하며 중국, 일본 등 동아시아 국가에서 광범위하게 양식되고 있다. 국내 다시마 양식은 1970년대 동해안에서 시작된 이후 점차 전국적으로 확산되었고(Lee et al., 2005), 2018년에는 551,361t 생산되어 해조 산업 중 가장 큰 산업의 하나로 성장했다(MOF, 2019). 그러나 다시마의 생산량은 수온, 염분, 유속, 영양 수준 등의 환경적 요인에 따라 달라지며, 성장 과정 중 질병, 노화에도 큰 영향을 받는다(Yotsukura et al., 2010).

따라서 해조류 양식에 있어 해역의 환경 특성을 파악하는 것은 양식 전략을 수립하는데 중요하다. 본 연구는 전남 고흥 2 곳의 양식장에서 두 품종의 다시마에 대해 시험 양식한 데이터를 이용하여 어장 환경과 양적형질(엽장, 엽중량)과의 상호관계를 통계적 분석방법을 통해 대해 알아보고자 하였다.

II. 재료 및 방법

시험재료는 백령도산과 완도산 다시마 종묘를 구입하여 전남 고흥해역에서 가이식하였고, 유엽의 길이가 2~3cm 정도까지 성장시켰다. 양식 시험은 종사를 3~4cm 길이로 자르고, 로프에 30cm 간격으로 끼워 수심 1m에 시설하였다. 양식 시험은 2003년 2월부터 7월까지 고흥의 바깥쪽 어장인 명천과 안쪽 어장인 계도 두 곳의 양식장에서 수행하였다.

수온과 염분은 DO meter(YSI, Model 85/10 FT)로 측정하였다. 해수는 1.8 L 휴대용 중층채수기(Wildlife Supply Company, Model 1920-H60-0896)로 채수한 후 실험실로 옮겨와 수질분석을 실시하였다. 아질산성 질소(NO₂-N)은 N-(1-Naphtyl)-ethylenedimine dihydrochloride 방법(Bendschneider and Robinson 1952)으로, 질산성 질소(NO₃-N) 함량은 cadmium-copper reduction 방법(Wood et al., 1967)으로 분석하였다. 또한 암모니아성 질소(NH₄-N) 함량은 phenol-hypochloride 방법(Solórzano L., 1969)으로, 인산염(PO₄-P) 함량은 ascorbic acid 방법(Murphy and Riley, 1962)을 이용하였다.

다시마의 주요 형질인 엽장(Total length)과 엽중량(Total weight)은 2월에서 7월까지 두 어장에서 매월 측정하였고, Radford(1967)의 상대성장률 산출 방법에 따라 각각의 엽체 성장량으로부터 상대성장률을 계산하였다(식 (1)).

$$\text{상대성장률}(RGR) = \frac{[\log(A) - \log(B)]}{\text{성장기간(일)}} \dots\dots\dots(1)$$

여기서 A, B는 후기와 전기 성장량이다. 또한 두 형질 간의 상관분석 및 형질과 환경과의 상호작용을 주성분분석(PCA, Principal component

analysis) 하였다. PCA는 다변량 통계 패키지 프로그램(MVSP, Kouvach Coupating Service, Anglseay, wales)으로 처리하였다.

III. 결과 및 고찰

양식 시험어장의 해양환경 요인(수온, 염분, 총 질소, 총인 및 부유물질) 측정값은 Table 1에 나타났다. 두 양식장의 환경조건은 양식 시험기간 중 큰 차이가 없었다.

명천과 계도 어장에 있는 다시마 두 품종의 업장과 업중량을 표시한 box plot을 Fig. 1에 나타냈다. Box plot에서 수염은 자료의 분포를 의미하고, 박스는 사분위수 범위를 나타내며, 상자 안의 선은 중앙값을 표시한다. 명천 어장에서 7월 업장의 '완도' 품종은 이상치가 1개 존재하고, 박스의 넓이가 가장 좁게 나타났다. 수염의 길이 역시 다른 월에 비해 매우 짧았고, 위쪽보다 아래쪽이 더 길게 나타났다. 중앙값은 데이터의 중간

50%에서 위쪽으로 치우친 분포였다. 명천 어장에서 7월 '완도' 품종의 업중량의 경우, '백령도' 품종보다 상자 넓이(분포)가 크게 길게 나타났다. Box plot의 윗수염은 아랫수염보다 길었고, 이 표본의 분포는 위쪽으로 기울어져 있다. 중앙값은 데이터의 중간 50%에서 아래쪽으로 치우친 분포였다. '백령도' 품종의 경우, 두 수염 길이가 거의 같고, 중앙값은 상자 중앙에 거의 위치하여 분포가 대칭적이었다.

명천과 계도 어장에서 2월부터 7월까지 채취한 전체 다시마의 평균, 중앙값, 표준편차, 표준오차, 변동계수, 최대값과 최소값을 Table 2에 나타냈다. 평균 업장은 명천 어장에서 '백령도' 품종(265.93cm)이 '완도' 품종(267.82cm)이 보다 짧았고, 계도 어장에서 '백령도' 품종(272.48cm)이 '완도' 품종(235.35cm) 보다 길었다. 그러나 중앙값은 명천 어장과 계도 어장 모두 '백령도' 품종이 더 길게 나타났다. 평균 업중량은 명천과 계도 어장 모두 '백령도' 품종이 '완도' 품종보다 각각 19.04g, 43.15g 더 무거웠다.

Table 1. Monthly seawater temperature (Tem), salinity (Sal), total nitrogen (T-N), total phosphorus (T-P) and suspended particulate matter (SPM) at two aquafarm during the study period

Environmental factor	Aquafarm	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.
Tem (°C)	M	8.3	12.6	15.8	15.8	21.3	22.6
	G	8.4	12.5	15.7	15.8	21.5	22.5
Sal (‰)	M	33.8	33.4	32.7	32.3	31.4	30.1
	G	33.8	33.4	32.7	32.3	31.3	30.0
T-N (mg/L)	M	0.108	0.108	0.105	0.104	0.082	0.051
	G	0.110	0.110	0.108	0.105	0.070	0.051
T-P (mg/L)	M	0.017	0.013	0.011	0.01	0.007	0.006
	G	0.015	0.012	0.011	0.01	0.008	0.006
SPM (mg/L)	M	18.6	15.8	30.2	37.8	27.2	23.8
	G	18.6	15.8	30.2	37.8	27.2	23.8

M : Myeongcheon aquafarm, G : Gyedo aquafarm

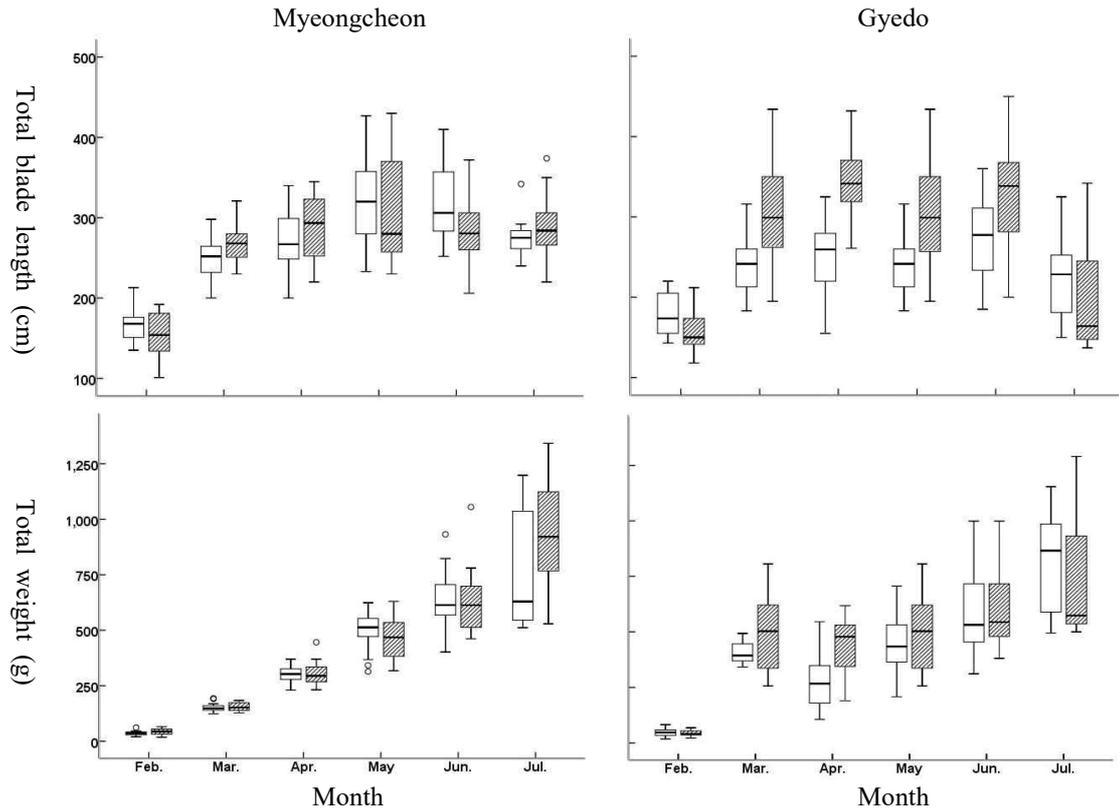


Fig. 1. Monthly total blade lengths and total weights of two cultivars of *Saccharina japonica* at Myeongcheon and Gyedo aquafarms. □ : Wando cultivar, ▨ : Baengnyeongdo cultivar

Table 2. Mean, median, standard deviation (SD), standard error (SE) and coefficient of variation (CV), maximum (Max), minimum (Min) value of the two cultivars of *Saccharina japonica* in two aquafarms

Trait	Aquafarm	Cultivar	Mean	Median	SD	SE	CV	Max	Min
TL	M	Wando	267.82	265.50	65.76	6.00	0.25	427	135
		Baengnyeongdo	265.93	273.00	67.00	6.12	0.25	430	101
	G	Wando	235.35	234.50	50.60	4.62	0.21	360	143
		Baengnyeongdo	272.48	284.00	91.17	8.32	0.33	450	118
TW	M	Wando	401.02	341.00	290.51	26.52	0.72	1198	20
		Baengnyeongdo	420.06	362.00	318.29	29.06	0.76	1342	18
	G	Wando	427.13	408.00	272.93	24.91	0.64	1154	18
		Baengnyeongdo	470.28	502.50	267.05	24.38	0.57	1290	22

TL : Total blade length, TW : Total weight, M : Myeongcheon aquafarm, G : Gyedo aquafarm

두 품종의 엽장과 엽중량의 상대 성장률을 조사하였다(Table 3). 명천 어장에서 엽장의 성장률은 '완도' 품종이 0.0033, '백령도' 품종이 0.0042로 나타났고, 엽중량은 '완도' 품종이 0.0200, '백

령도' 품종이 0.0203였다. 계도 어장에서 엽장의 성장률은 '완도' 품종이 0.0015, '백령도' 품종이 0.0017로 나타났고, 엽중량은 '완도' 품종이 0.0190, '백령도' 품종이 0.0189였다. 두 품종의

성장률은 계도 어장보다 명천 어장에서 더 빨랐다. Table 3에서 마이너스 부호는 엽체 끝녹음에 의해 엽장과 엽중량이 감소한 것으로 명천 어장에서는 5월부터, 계도어장에서는 4월부터 나타났다. 이것은 바깥어장인 명천 어장보다 내만인 계도 어장에서 먼저 끝녹음이 시작된 것으로 판단된다.

명천과 계도 어장에서 두 품종 다시마의 엽장과 엽중량과의 상관관계를 Fig. 2에 나타냈다. 명천 어장의 '완도' 품종이 엽장과 엽중량의 상관관계($r=0.6252$)가 가장 높게 나타났고, 회귀직선기울기는 명천 어장에서 '완도' 품종이 최대경사도를 보였다. 데이터는 분산분석(ANOVA test) 결과 유의수준 5%, 1%에서 유의하였다(Table 4).

Table 3. Daily relative growth rate of total blade length and total weight of two cultivars of *Saccharina japonica*

Aquafarm	Cultivar	Trait	Feb-Mar	Mar-Apr	Apr-May	May-Jun	Jun-Jul	Feb-Jul
M	Wando	TL	0.0149	0.0005	0.0062	-0.0003	-0.0057	0.0033
		TW	0.0504	0.0016	0.0167	0.0078	0.0051	0.0200
	Baengnyeongdo	TL	0.0199	0.0006	0.0025	-0.0028	0.0003	0.0042
		TW	0.0459	0.0015	0.0144	0.0089	0.0126	0.0203
G	Wando	TL	0.0109	0.0004	-0.0012	0.0041	-0.0070	0.0015
		TW	0.0773	0.0025	0.0019	0.0087	0.0110	0.0190
	Baengnyeongdo	TL	0.0238	0.0008	-0.0038	0.0015	-0.015	0.0017
		TW	0.0866	0.0028	-0.0007	0.0057	0.0077	0.0189

M : Myeongcheon aquafarm, G : Gyedo aquafarm, TL : Total blade length, TW : Total blade weight

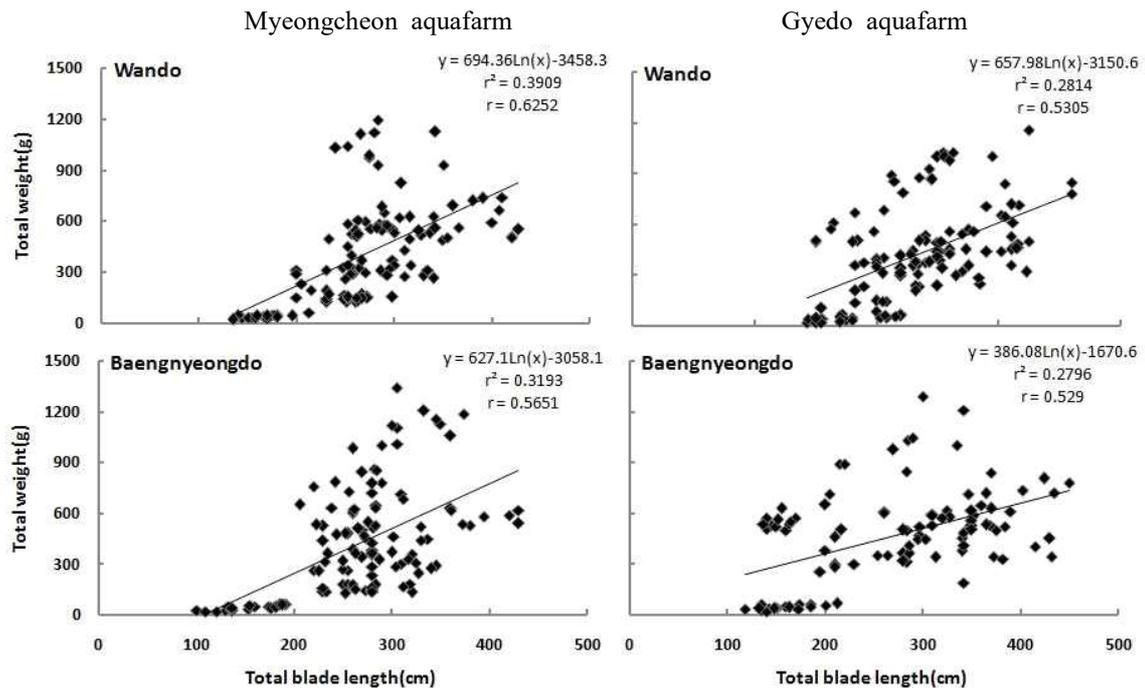


Fig. 2. Relationship between total blade length and total weight of two cultivars of *Saccharina japonica* at Myeongcheon and Gyedo aquafarms.

Table 4. Analysis of variance between total blade length and total weight of *Saccharina japonica* at Myeongcheon (M) and Gyedo (G) aquafarms

Aquafarm	Cultivar	Source of variation	Sum of squares	Degree of freedom	Mean of squares	F ₀	F _(a)	
							5%	1%
M	Wando	Regression	1064534.40	1	1064534.40	24.00	3.88	6.74
		Residual	10557461.93	238	44359.08			
		Total	11621996.33	239				
	Baengnyeongdo	Regression	1425270.94	1	1425270.94	26.94	3.88	6.74
		Residual	12589744.06	238	52898.08			
		Total	14015015.00	239				
G	Wando	Regression	2206659.04	1	2206659.04	57.28	3.88	6.74
		Residual	9168890.43	238	38524.75			
		Total	11375549.46	239				
	Baengnyeongdo	Regression	2347490.40	1	2347490.40	58.96	3.88	6.74
		Residual	9475641.85	238	39813.62			
		Total	11823132.25	239				

다시마의 두 형질과 환경 요인과의 관계를 분석하기 위해 주성분분석(PCA)을 실시하여 고유값 및 기여율을 구하였다(Table 5). 명천과 계도 어장에서 제1주성분의 고유값은 각각 6.658과 5.896으로, 제2주성분의 누적기여율이 91.4%, 90.5% 나타났다. 따라서 제1주성분과 제2주성분으로 형질과 해양환경 요인과의 상관관계를 주성분으로 설명할 수 있었다.

제1주성분과 제2주성분을 축으로 하여 PCA 그래프를 나타냈다(Fig. 3). 명천 어장에서 부유물질, 엽장, 엽중량은 1사분면에, 수온은 4사분면에 위치했다. 계도 어장에서 부유물질, 엽장과 '백령도' 품종의 엽중량은 1사분면에, 수온과 '완도' 품종의 엽중량은 4사분면에 위치했다. 총질소, 염분, 총인은 두 어장 모두 2사분면에 위치하였다.

Table 5. Eigenvalue and loading factor by the principal components analysis

Variable	Myeongcheon aquafarm		Gyedo aquafarm	
	Axis 1	Axis 2	Axis 1	Axis 2
Tem	0.370	-0.207	0.405	-0.089
Sal	-0.342	0.352	-0.376	0.265
T-N	-0.266	0.571	-0.328	0.387
T-P	-0.381	0.133	-0.403	0.122
SPM	0.215	0.488	0.185	0.292
WTL	0.344	0.349	0.290	0.441
WTW	0.371	0.024	0.394	-0.171
BTL	0.336	0.311	0.161	0.606
BTW	0.339	0.179	0.353	0.284
Eigenvalues	6.658	1.569	5.896	2.245
Percentage	73.978	17.433	65.511	24.941
Cumulative Percentage	73.978	91.411	65.511	90.452

Tem : Seawater temperature, Sal : Salinity, T-N : Total nitrogen, T-P : Total phosphorus, SPM : Suspended particulate matter, WTL : Total blade length of Wando cultivar, WTW : Total weight of Wando cultivar, BTL : Total blade length of Baengnyeongdo cultivar, BTW : Total weight of Baengnyeongdo cultivar

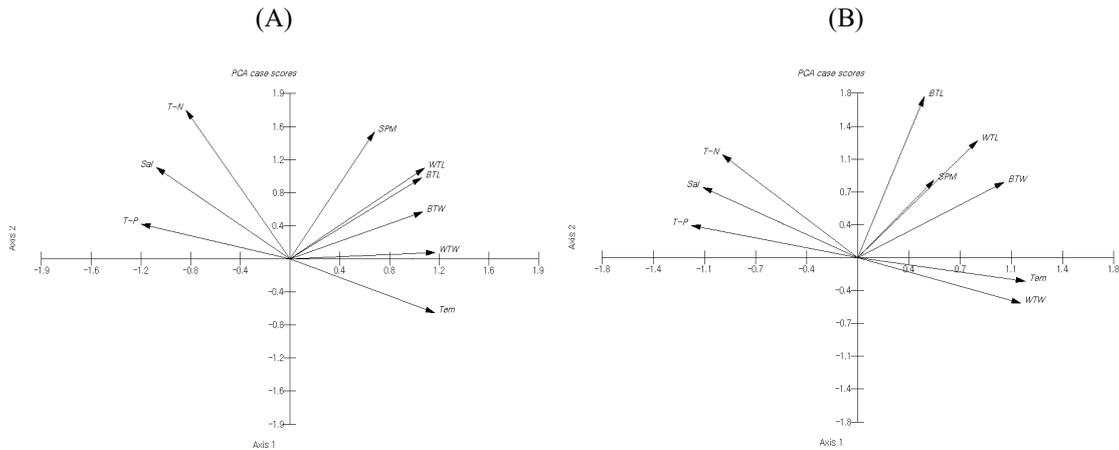


Fig. 3. Plots of scores on principal components axes for morphological and environmental characteristics of *Saccharina japonica*. (A) : Myeongcheon aquafarm, (B) : Gyedo aquafarm

명천 어장에서는 제1성분을 기준으로 수온과 상관관계가 있는 그룹과 아닌 두 그룹으로 나눌 수 있다. 또한 제2성분을 기준으로 형태적 특성과 관련이 있는 그룹과 아닌 두 그룹으로 나눌 수 있다. 제1성분의 형태적 특성은 수온과 부유물질이 엽장과 엽중량에 상관관계가 있었다. 반면에 제2성분의 형태적 특성은 수온 이외에 다른 환경요인이 상관관계가 있었다.

계도 어장에서는 제1성분을 기준으로 수온과 상관관계가 있는 그룹과 아닌 두 그룹으로 나눌 수 있다. 또한 제2성분을 기준으로 형태적 특성과 상관관계가 있는 그룹과 아닌 두 그룹으로 나눌 수 있다. 제1성분의 형태적 특성은 수온과 부유물질이 상관관계가 있었다. 반면에 제2성분은 '완도' 품종의 엽중량은 수온과 상관관계가 있었다.

주성분분석을 통해 해양환경 요인들과 다시마 엽장과 엽중량과의 상호작용을 분석한 결과 다시마 형질에 영향을 가장 많이 주는 요인은 수온이고, 다음으로 부유물질로 나타났다. 이들 결과는 양식 환경과 형질간의 관계를 추정할 수 있는 기초적인 자료를 제시하였다. 하지만 단기간의 양식 시

험만으로 판단할 수 없기 때문에 앞으로 양식 생물과 환경과의 관계에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

IV. 적요

본 연구는 전남 고흥 명천·계도 양식어장에서 2003년 2월부터 7월까지 완도와 백령도산 다시마 종묘를 이식, 시험양식을 실시하였다. 다섯 가지 환경 조건(수온, 염분, 총질소, 총인, 부유물질)과 두 가지 형질(엽장, 엽중량)을 매월 측정하였다. 이 데이터를 이용하여 성장 패턴, 형질간의 상관관계 및 PCA를 분석하는데 이용하였다. Box plot은 성장 패턴을 확인하기 위해 사용하였고, 형질들 간의 상호관계를 파악하기 위해 산점도, 회귀 계수 및 상관 계수를 이용하였다. 주성분 분석 결과 명천·계도 양식어장의 총 분산의 91.4%, 90.5% 이상을 제2주성분으로 설명할 수 있었다. 주성분분석(PCA)으로 두 어장에서 엽장과 엽중량의 성장에 가장 크게 영향을 주는 환

경변수는 수온과 부유물질로 나타났다. 두 품종 모두 명천 어장보다 계도 어장에서 성장이 빨랐고, '백령도' 품종이 '완도' 품종보다 성장이 나 중량에서 더 우수하였다.

IV. 참고문헌

1. 강래선, 고철환. (1999). 수온과 광량에 따른 다시마 초기 생활사의 발아와 성장. 한국수산학회. 32(4): 438-443.
2. 공용근. (1993). 자연산 및 양식 다시마 (*Laminaria japonica*)의 생장과 형태변이. 국립수산물연구원 연구보고. 47: 165-176.
3. 장재길, 이화연, 김남길. (2016) 기장과 완도해역에서의 수층별 다시마 (*Saccharina japonica* Areschoug) 생산성. 한국해양바이오학회지. 8(2): 54-66.
4. 정승미, 황다혜, 박은영, 김용진. (2015). 고정된 *S. coreanus*를 이용한 다시마로부터 바이오에탄올 생산. 한국폐기물자원순환학회. 32(1): 63-69.
5. 정익교. (1990). 애기다시마 식물의 미세구조 연구. 한국수산학회지. 23(2): 155-166.
6. 堀 輝三. (1993). 海藻の生活し集成. 内田老鶴園. 126-217.
7. Bendschneider, K. and R. J. Robinson. (1952). A new spectrophotometric method for the determination of nitrite in sea water. J. Mar. Res. 11: 87-96.
8. Boo, S. M. and H. S. Yoon. (2000). Molecular relationships of giant kelp (Phaeophyceae). Algae. 15: 13-16.
9. Jang, J. S., Y. K. Cho, G. T. Jeong and S. K. Kim. (2012). Optimization of saccharification and ethanol production by simultaneous saccharification and fermentation (SSF) from seaweed, *Saccharina japonica*. Bioprocess and Biosystems Engineering. 35: 11-18.
10. Kain, J. M. (1991). Cultivation of attached seaweeds. In: Seaweed resources in Europe: uses and potential. John Wiley & Sons. pp. 309-377.
11. Kim, J. O., W. S. Kim, H. N. Jeong, S. J. Choi, J. S. Seo, M. A. Park and M. J. Oh. (2017). A survey of epiphytic organisms in cultured kelp *Saccharina japonica* in Korea. Fisheries and Aquatic Sciences. 20: 1-7.
12. Lee, J. A. (1992). Gametogenesis and early sporophyte development of *Laminaria religiosa* in the east coast of Korea. Korean J. Phycol. 7: 109-119.
13. Lee, J. H., D. H. Kim, S. P. Jung, S. J. Choi, I. K. Chung and J. A. Shin. (2005). Cultivation of *Laminaria japonica* (Laminariales, Phaeophyta) in Udo coast, Jeju, Korea. Algae. 20(2): 167-176.
14. M. O. F. (2019). Statistic database for fishery production survey. Ministry for Oceans and Fisheries, Korea. <https://www.fips.go.kr>.
15. Murphy, J. and J. P. Riley. (1962). A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. Anal. Chim. Acta 27: 31-36.
16. Park, C. S. and E. K. Hwang. (2012). Seasonality of epiphytic development of the hydroid *Obelia geniculata* on cultivated *Saccharina japonica* (Laminariaceae, Phaeophyta) in Korea. J. Appl. Phycol. 24: 433-439.
17. Peteiro, C. and Ó. Freire. (2013). Biomass

- yield and morphological features of the seaweed *Saccharina latissima* cultivated at two different sites in a coastal bay in the Atlantic coast of Spain. J. Appl. Phycol. 25: 205-213.
18. Radford, P. J. (1967). Growth analysis formulae-their use and abuse. Crop. Sci. 7:171-75.
19. Solórzano, L. (1969). Determination of ammonia in natural waters by phenolhypochlorite method. Limnol. Oceanogr. 14: 799-801.
20. Wood, E. D., F. A. J. Armstrong and F. A. Richards. (1967). Determination of nitrate in sea water by cadmium-copper reduction to nitrite. J. Mar. Bio. Ass. U.K., 47: 23-31.
21. Yotsukura, N., K. Nagai, H. Kimura and K. Morimoto. (2010). Seasonal changes in proteomic profiles of Japanese kelp: *Saccharina japonica* (Laminariales, Phaeophyceae). J. Appl. Phycol. 22: 443-451.

논문접수일 : 2020년 10월 31일
논문수정일 : 2020년 12월 7일
게재확정일 : 2020년 12월 10일