

저준위 감마선 조사에 의해 유도된 참김(*Pyropia tenera*) 돌연변이 계통주의 성장 특성

남지연 · 김보연 · 김찬송 · 황일기 · 허진석*

국립수산물연구원 해조류연구소

Growth Characteristics of *Pyropia tenera* Mutant Strains Induced by Low-dose Gamma Ray Irradiation

Ji Yeon Nam, Bo Yeon Kim, Chan Song Kim, Il Ki Hwang and Jin Suk Heo*

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

The study aimed to select superior strains with improved growth characteristics from *Pyropia tenera* wild strains by using gamma irradiation (100 and 500 Gy) and analyze their indoor and field growth performances. Superior strains (PT100G and PT500G) that showed markedly enhanced growth when compared with the wild type were selected from the gamma-irradiated groups. According to indoor growth experiments, all strains showed the highest blade length at 10°C. PT100G and PT500G exhibited average blade lengths of 84.10 ± 5.10 mm and 90.83 ± 3.93 mm, respectively, which were approximately 1.6–1.7 times greater than that of the wild type (51.93 ± 2.66 mm). Moreover, PT500G showed significantly higher growth than the wild type at 15°C and 20°C, suggesting improved temperature tolerance induced by gamma-ray irradiation. Field cultivation experiments also demonstrated significantly higher growth in both superior strains than in the wild type. PT100G showed an average blade length of 56.52 ± 3.49 mm, which was approximately 1.7 times greater than that of the wild type. These results indicate that gamma irradiation can be effectively used to improve the growth traits of *P. tenera* wild strains, and the selected mutant strains may serve as valuable breeding materials for future cultivar development.

Keywords: *Pyropia tenera*, Mutant, Gamma ray, Superior strain, Growth

서론

김(*Pyropia*)은 우리나라를 비롯한 동아시아 지역에서 주로 양식되는 유용 해조류로, 2025년 생산량 약 72만톤, 수출액 11.3억 달러를 기록한 국내 주요 양식산업이자 수출 품목이다(He et al., 2021; Kim et al., 2022; MOF, 2025). 그러나 최근 김 산업은 생산량 변동에 따른 수급 불안정성이 반복되고 있으며, 기후 변화에 따른 수온 상승과 양식 환경 변화로 인해 생산 안정성 저하가 우려되고 있다(Kim et al., 2019, 2021; Baek et al., 2026). 실제로, 일본에서는 해수온 상승으로 인해 김 양식 시기가 단축되고 생산량이 감소하는 문제가 보고되었다(KMI, 2017). 이에 따라 정부는 고수온 내성 품종 개발, 안정적인 종자 생산 기술 및 육상양식 시스템 구축 등 기후변화 대응 연구를 추진하

고 있으며, 새로운 양식 가능 종의 발굴과 품종 다양화 역시 김 산업의 지속적인 성장 기반 강화를 위한 중요한 과제로 대두되고 있다.

현재 국내에서 해면 양식하고 있는 김은 방사무늬김(*Pyropia yezoensis*), 잇바디돌김(*Pyropia dentata*), 모무늬돌김(*Pyropia seriata*) 3종으로, 일본과 중국의 양식 김보다 상대적으로 다양한 종이 양식 산업에 활용되고 있다(Sasuga et al., 2017; Ding et al., 2019, 2021). 이러한 양식 종 다양성을 확대하고 고부가가치 김 시장을 개척하기 위해 새로운 양식 품목으로, 참김(*Pyropia tenera*)이 주목받고 있다. 참김은 과거 국내 연안에서 양식되었으나 생산성이 우수한 방사무늬김의 보급 이후 양식 현장에서 자취를 감추었다(Hwang et al., 2005, 2010). 참김은 방사무늬김에 비해 성장 속도가 느리고 생산성이 낮아 상업적 양

*Corresponding author: Tel: +82. 61. 530. 3908 Fax: +82. 61. 532. 5806

E-mail address: hjs6383@korea.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2026.0317>

Korean J Fish Aquat Sci 59(4), 317-324, August 2026

Received 29 May 2026; Revised 30 June 2026; Accepted 14 July 2026

저자 직위: 남지연(연구원), 김보연(연구사), 김찬송(연구사), 황일기(연구관), 허진석(연구사)

식에 한계가 있으나, 단백질, 무기질 및 아미노산 등 주요 영양 성분 함량이 높아 고부가가치 기능성 식품 소재로 활용 가능성이 높은 종으로 평가되고 있다(Nam et al., 2025). 하지만, 참김의 높은 영양적 가치를 산업적으로 활용하고, 기존 양식 품종과 차별화된 프리미엄 양식 품종으로 육성하기 위해서는 낮은 생산성 문제를 개선해야 한다. 이를 위해서는 참김 야생 계통주를 대상으로 다양한 육종 기술을 적용한 우량계통주 선발 및 품종 개량 연구가 필요하다.

품종개발을 위한 방법에는 자연개체 선발을 통한 전통적인 육종 방법과 형질 변이를 유도하는 돌연변이 육종 기술이 활용되고 있다(Oladosu et al., 2016; Shin et al., 2018; Ma et al., 2019). 그 중 방사선 육종은 감마선 조사를 통해 돌연변이를 유발하고 개선된 형질을 가진 계통주를 선발하는 방법으로, 작물 품종 개량에 널리 활용되어 왔다(Beyaz and Yildiz, 2017). 최근에는 김류(*Pyropia* spp.)를 대상으로 한 감마선 육종 연구도 활발히 수행되고 있으며, 감마선 조사에 의해 생장 및 환경 적응성이 향상된 우량계통주가 보고되고 있다(Chen et al., 2016; Ding et al., 2019; Yan et al., 2024). 국내에서도 방사무늬김을 대상으로 감마선 돌연변이 유도를 통한 고온 적응성 및 생장 개선 연구가 수행된 바 있으며(Shin et al., 2018; Lee et al., 2019; Lee, 2021), 국립수산물과학원에서는 감마선 육종을 통해 수과원 115호를 개발하기도 하였다. 이와 같이 감마선 조사를 활용한 김류의 품종 개량 연구는 국내·외에서 다양하게 수행되어 왔으나, 참김 야생 계통주를 대상으로 한 연구는 아직 제한적이다. 따라서 감마선 육종 기술을 참김 야생 계통주에 적용하여 우량계통주를 확보할 수 있다면, 참김의 산업적 활용 확대에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 국내 참김(*P. tenera*) 야생 계통주에 저준위 감마선을 조사하여 생장 특성이 우수한 우량계통주를 선발하고 우량계통주를 대상으로 실내 및 야외 생장 특성을 분석하여 참김의 산업적 활용 및 양식 품종 다양화를 위한 품종 개발의 기초자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

감마선 조사 및 우량계통주 선발

본 연구에서는 전라남도 진도군 고군면 회동 해안(34°25'N, 126°20'E)에서 채집된 참김(*P. tenera*) 시료를 사용하였으며, 시료는 국립수산물과학원 해조·해초류 기탁등록보존기관으로부터 제공받았다. 참김 유리사상체에 감마선 조사 육종기술을 적용하기 위하여 20°C, 40 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 10L:14D 조건으로 설정된 배양기(MTI-202B; Tokyo Rikakikai Co., Ltd., Tokyo, Japan)에서 각포자낭 형성을 유도하였다.

각포자낭이 형성된 유리사상체는 한국원자력연구원 첨단 방사선연구소(Jeongeup, Republic of Korea)에서 강도 0.111 PBq 조건에서 100 Gy (선량률 250 kGy h⁻¹) 및 500 Gy (선량률

50 kGy h⁻¹)로 조사하였으며, 기기는 ⁶⁰Co irradiator (point pencil IR-222; MDS Nordion International Co., Ottawa, Canada)를 이용하였다. 감마선 처리구의 조사선량별 유리사상체와 비처리구(참김 대조구) 유리사상체를 20°C, 20 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 10L:14D 조건에서 배양하여 각포자낭의 성숙을 유도하였다. 이후 15°C, 40 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 10L:14D 조건에서 각포자 방출을 유도하였으며, 채묘사를 이용하여 채묘하였다.

각 실험구별 각포자가 부착된 채묘사를 온도(5, 10, 15, 20, 25°C), 광도 80 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 광주기 10L:14D 조건에서 10주 동안 배양하였으며, 생장 차이를 보이는 개체를 선발하였다. 선발된 엽체는 형질 고정을 위해 순계화를 실시하였다(Hwang et al., 2010; Park, 2023).

실내 생장 실험

참김 야생 계통주와 감마선 조사를 통해 선발된 우량계통주의 실내 생장 특성을 비교하기 위해 생장 실험을 수행하였다. 순계화된 유리사상체는 위와 같은 조건에서 각포자낭의 성숙 및 방출을 유도하였으며, 채묘사를 이용하여 채묘하였다. 각포자가 부착된 채묘사는 각 실험구별로 온도(5, 10, 15, 20, 25°C), 광도 80 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 광주기 10L:14D 조건에서 10주 동안 배양하였으며, 각 조건별로 3개의 반복구를 두었다. 배양 기간 동안, 1주 간격으로 광학현미경(BX53F; Olympus Corp., Tokyo, Japan) 및 vernier calipers (CD-P15S; Mitutoyo Corp., Kawasaki, Japan)를 이용하여 각 반복구별로 15개체의 엽장 및 엽폭을 측정하였다.

야외 시험 양식

대조구인 참김 야생 계통주와 감마선 조사를 통해 선발된 우량계통주의 야외 형질 특성을 비교하기 위해 시험 양식을 수행하였다. 참김의 시험 양식을 위해 Heo et al. (2021)에 소개된 방법으로 종자 확보를 위한 폐각사상체를 배양하였으며, 2024년 10월에 인천광역시 선재도의 김 양식 어장(37°14'N, 126°32'E)에서 해상 채묘를 실시하였다. 본 연구의 시험양식장은 방사무늬김 양식장과 인접하여 방사무늬김의 혼입 가능성이 있었다. 이에 따라 채묘 10주 후 확보한 엽체 시료에 대해 DNA 분석을 실시하여 참김 여부를 확인하였다(Nam et al., 2025). 또한, vernier calipers로 확보한 엽체의 길이를 측정하여 야외 생장 특성을 확인하였다.

통계분석

실내 및 야외 생장 특성 비교를 위해 통계분석은 Cochran의 등분산검정(test of homogeneity of variances)을 통해 데이터의 동질성을 확인한 후, One-way 또는 Two-way ANOVA로 유의차를 검정하였으며, Tukey's HSD test로 사후 검정하였다(Sokal and Rohlf, 1995). 통계프로그램은 SPSS (ver. 20; IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 사용하였다.

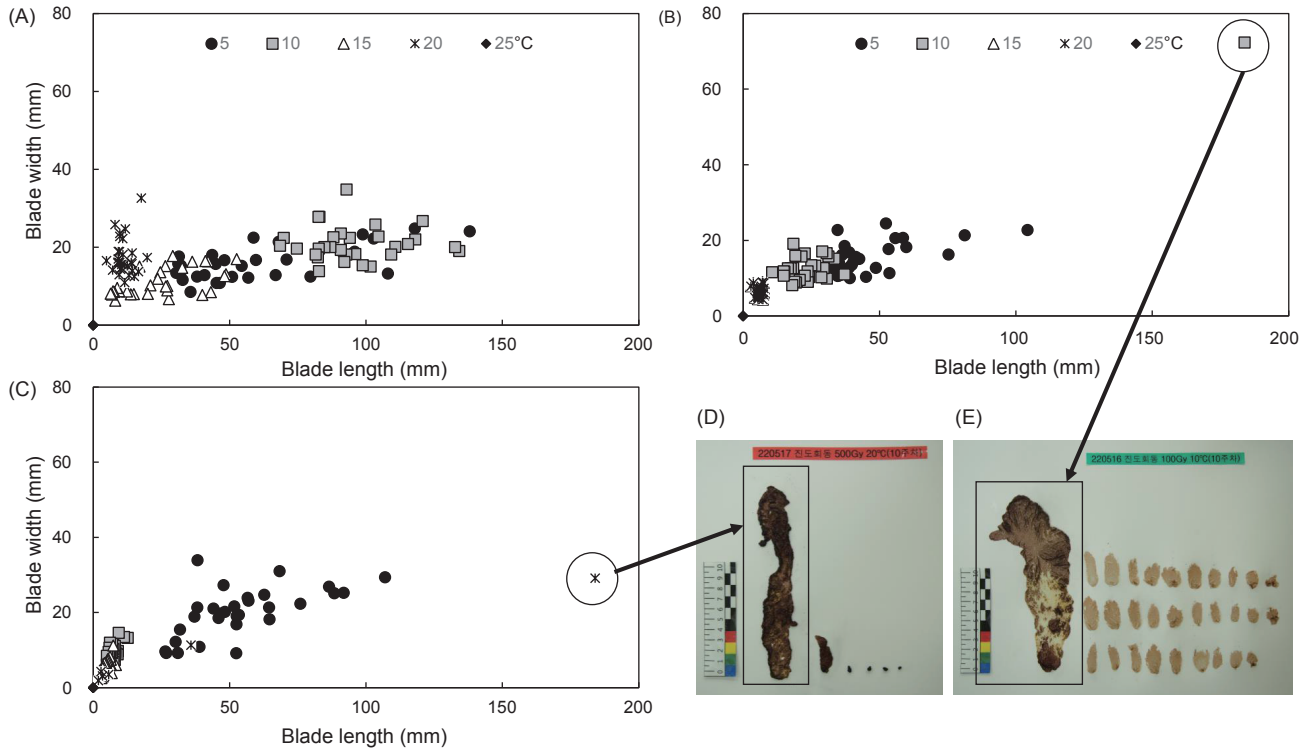


Fig. 1. Growth comparison and selection of superior strains from WT and gamma ray-treated *Pyropia tenera* cultured under different temperature conditions after 10 weeks of indoor culture. WT, wild type. A, WT; B, 100 Gy treatment; C, 500 Gy treatment; D, PT500G; E, PT100G.

결 과

우량계통주 선발

대조구 및 감마선 처리구의 온도별 배양 10주 후, 대조구(참김 야생계통주)는 5°C–10°C에서 상대적으로 빠른 성장을 보였으며, 최대 엽장은 5°C에서 138.0 mm였다(Fig. 1A). 감마선 처리구에서는 다른 엽체에 비해 빠른 성장을 보이는 엽체가 있었으며, 100 Gy 처리구에서는 10°C에서 최대 엽장 183.9 mm (Fig. 1B), 500 Gy 처리구에서는 20°C에서 최대 엽장 184.1 mm (Fig. 1C)를 나타냈다. 감마선 조사 처리구 중 대조구보다 엽체의 생장이 우수한 개체를 우량계통주로 선발하였으며, 처리 조건에 따라 각각 PT100G 및 PT500G로 명명하였다(Fig. 1D–E).

실내 성장 특성

대조구와 감마선 처리 후 선발된 우량계통주의 실내 성장 특성을 확인한 결과, 온도 조건별로 차이는 있으나 배양 5–6주 후에 빠르게 성장하였다. 대조구는 배양 10주 후 10°C 조건에서 평균 엽장 51.93 ± 2.66 mm (mean $\pm$ SE)로 가장 빠른 성장을 보였다(One-way ANOVA, $P < 0.001$) (Fig. 2A). 엽폭은 15°C에서 평균 9.57 ± 0.56 mm로 가장 크게 나타났으나, 10,

20°C 조건과 유의차는 없었다(Fig. 2B). 100 Gy 처리구 10°C에서 선발된 PT100G는 10°C 조건에서 평균 엽장 84.10 ± 5.10 mm, 엽폭 19.54 ± 1.12 mm로 가장 크게 나타났으며(One-way ANOVA, $P < 0.001$) (Fig. 2C, D), 5°C에서도 평균 엽장 40.70 ± 1.24 mm로 비교적 빠른 성장을 보였다. 반면, 15°C에서는 초기 생장이 빠르게 진행되었으나 배양 7주 후부터 엽장이 감소하는 경향을 보였다. 500 Gy 처리구 20°C에서 선발된 PT500G도 10°C 조건에서 평균 엽장 90.83 ± 3.93 mm로 가장 우수한 성장을 보였으며(One-way ANOVA, $P < 0.001$), 15°C에서도 평균 47.39 ± 2.28 mm로 비교적 빠른 성장을 보였다(Fig. 2E). 평균 엽폭 또한, 10°C와 15°C에서 각각 10.32 ± 0.47 mm, 10.86 ± 0.78 mm로 크게 나타났다(Fig. 2F). 반면, 25°C에서는 모든 계통주의 생장이 저해되었다.

계통주와 온도별 성장 변화를 통계분석한 결과, 5개의 온도조건에 따른 엽체의 생장은 유의차를 보였고(Two-way ANOVA, $P < 0.001$), 계통주와 온도의 상호작용에서도 유의한 차이를 보였다(Two-way ANOVA, $P < 0.01$) (Table 1). 대조구와 비교했을 때, 선발된 우량계통주의 온도별 성장 변화가 다르게 나타났다(Fig. 3). 대조구와 2개의 우량계통주 모두 10°C에서 최적 성장을 보였으나, 우량계통주의 엽장이 대조구에 비해 약 2배 정도 높게 나타나 생장이 향상된 것을 확인하였다. 또한, PT500G

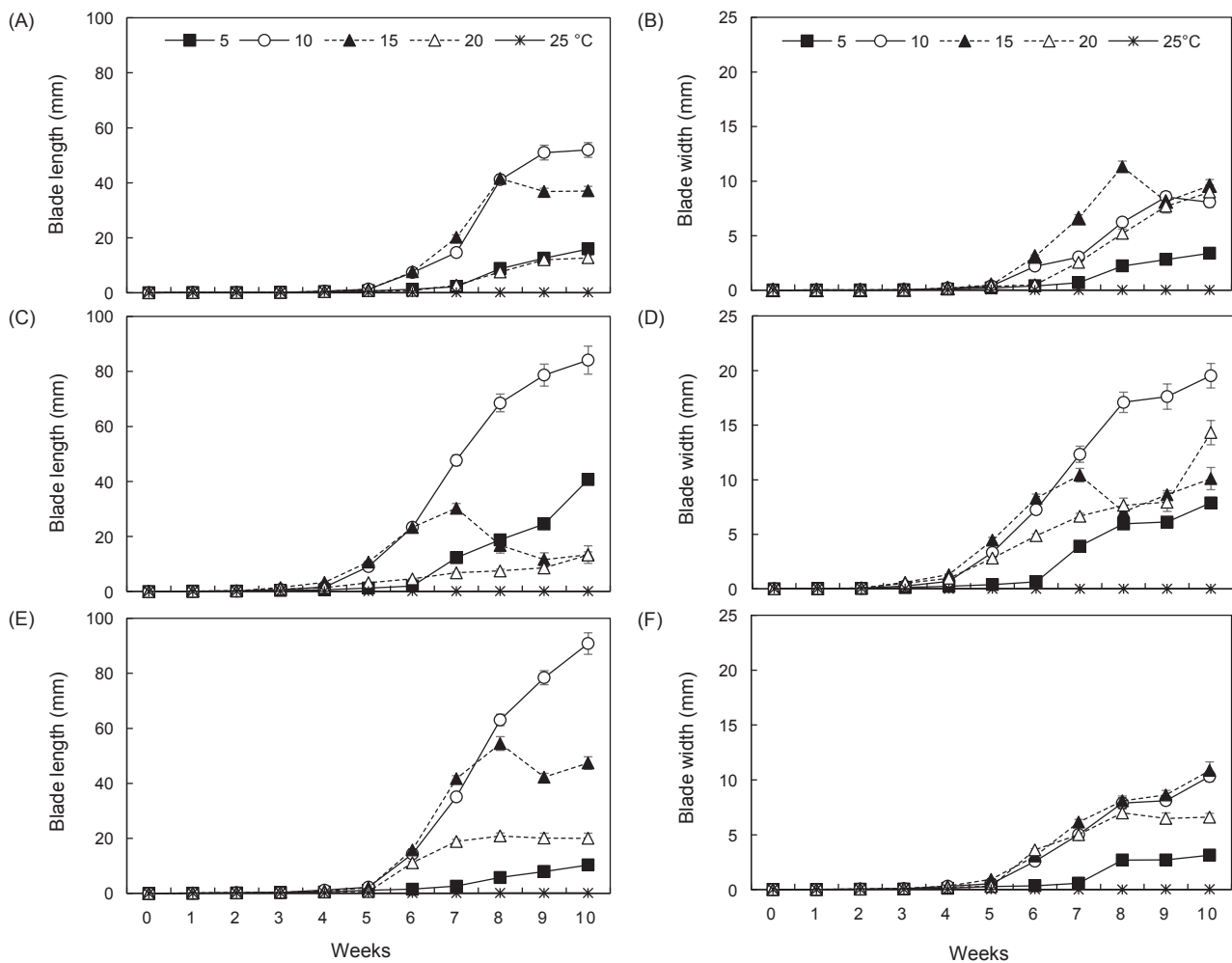


Fig. 2. Growth variation of *Pyropia tenera* strains cultured under different temperature conditions for 10 weeks of indoor culture. Values are presented as mean $\pm$ SE. WT, wild type. A and B, WT; C and D, PT100G; E and F, PT500G. SE, standard error.

는 15°C와 20°C에서도 대조구에 비해 유의적으로 빠른 성장을 보여(One-way ANOVA, $P < 0.05$) 온도 상승 조건에서의 성장 형질이 향상된 것으로 판단된다.

Table 1. Results of Two-way ANOVA and Tukey's tests for the effects of strain and temperature on blade length after 10 weeks of culture in three *Pyropia tenera* strains

Factors	df	SS	MS	F	P
Strain (S)	2	1,526.177	763.059	3.858	<0.05
Temperature (T)	4	30,956.301	7,739.075	39.126	<0.001
S $\times$ T	8	7,430.124	928.766	4.696	<0.01
Tukey HSD test ($P=0.05$)					
Strain (S)	PT500G=PT100G, PT100G=WT				
Temperature (T)	10, 15=5=20, 20=25°C				

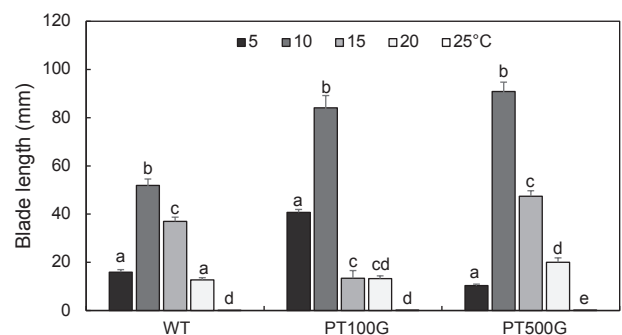


Fig. 3. Growth comparison of *Pyropia tenera* strains (WT, PT100G, and PT500G) cultured under different temperature conditions after 10 weeks of indoor culture. WT, wild type. Bars indicate the mean $\pm$ standard error ($n=3$). Means with different alphabet (a-e) are significantly different ($P < 0.05$).

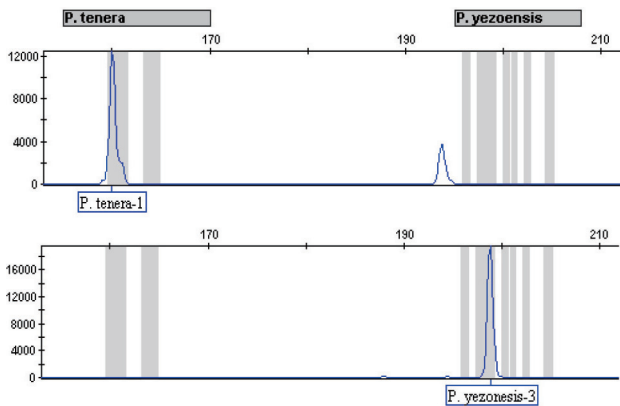


Fig. 4. Capillary electrophoresis analysis of *Pyropia tenera* and *P. yezoensis* in Korea.

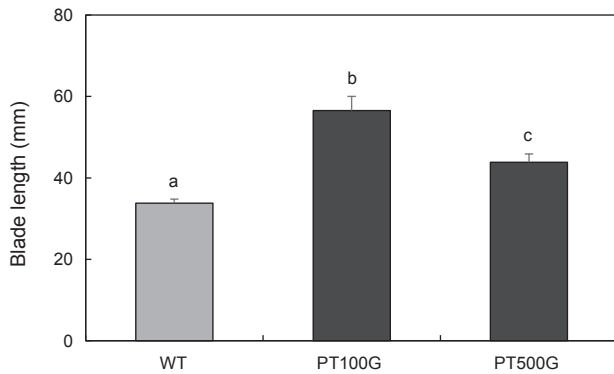


Fig. 5. Growth comparison of *Pyropia tenera* strains (WT, PT100G, and PT500G) under field cultivation conditions after 10 weeks of seeding. WT, wild type. Bars indicate the mean±standard error (n=3). Means with different alphabet (a, b, c) are significantly different ($P<0.05$).

야외 성장 특성

시험양식장은 방사무늬김 양식장과 인접하여 방사무늬김의 혼입 가능성이 있어 채묘 10주 후에 확보한 엽체 시료에 대해 DNA 분석을 실시하여 참김으로 확인된 개체만 성장 분석에 사용하였다(Fig. 4). 그 결과, PT100G의 평균 엽장은 56.52 ± 3.49 mm로 가장 빠른 성장을 보였으며, PT500G는 43.82 ± 2.09 mm로 확인되었다(Fig. 5). 반면, 대조구(wild type, WT)의 평균 엽장은 33.80 ± 1.00 mm로 나타나, 두 우량계통주 모두 대조구에 비해 유의적으로 빠른 성장을 보였다(One-way ANOVA, $P<0.001$). 특히 PT100G는 대조구 대비 약 1.7배 빠른 성장을 나타내어 실내 성장 특성과 유사한 경향을 보였다.

고 찰

본 연구에서는 국내 참김(*P. tenera*) 야생 계통주를 대상으로 저준위 감마선 조사를 통해 우량계통주를 선발하였고, 계대배양을 하면서 형질의 안정성과 균일성을 확보하는 순계화 과정을 수행하였다. 이후 모계와 선발된 계통주를 대상으로 실내 및 야외 양식시험을 통해 성장 특성을 분석하였다. 참김 야생 계통주와 선발된 우량계통주(PT100G, PT500G)의 실내 성장 특성을 분석한 결과, 모든 계통주에서 10°C에서 평균 엽장이 가장 크게 나타나, 참김의 생장이 5°C–10°C의 저수온 범위에서 우수하다고 보고한 Hwang et al. (2010)의 결과와 유사하였다. 우량계통주 PT100G와 PT500G는 10°C 조건에서 각각 84.10 ± 5.10 mm, 90.83 ± 3.93 mm의 엽장을 보여, 대조구(51.93 ± 2.66 mm)에 비해 약 1.6–1.7배 빠른 성장을 나타냈으며, 이는 감마선 조사에 의해 유도된 돌연변이가 참김의 성장 형질 개선에 영향을 미친 것으로 판단된다. 특히, PT500G는 15°C와 20°C에서도 대조구에 비해 유의적으로 빠른 성장 특성을 보여(One-way ANOVA, $P<0.05$), 감마선 처리에 의해 고온 조건에서의 성장 유지 능력이 향상된 것으로 추정된다. 김류(*Pyropia* spp.)를 대상으로 한 감마선 육종 선행연구를 보면, 방사무늬김에 500 Gy 감마선을 조사하여 선발된 돌연변이 계통주 Py500G는 12°C에서 야생형 대비 약 4배 빠른 엽체 성장을 보였으며(Lee et al., 2019), HTR-1 계통주 역시 고온 조건에서 엽체 성장, 색소 함량, 광합성 효율 및 단포자 방출 능력을 안정적으로 유지하는 것으로 보고되었다(Shin et al., 2018). 하이타넨시스김(*Pyropia haitanensis*)에 ^{60}Co 감마선을 조사하여 선발된 ST-2 계통주는 모계 대비 엽체 길이가 약 1.9배 향상되었으며(Ding et al., 2019), 둥근돌김(*Pyropia suborbiculata*)에서도 감마선 조사 후 모계 대비 성장 속도가 약 58% 향상된 PS-M4 계통주가 확보된 바 있다(Yan et al., 2024). 특히, 참김에 1 kGy 감마선을 조사하여 선발된 Pt1k 계통주는 12°C에서 야생형보다 성장 및 생체량이 4배가 향상되었으며, 고온 조건인 20°C와 25°C에서도 생장이 유지되는 특성을 보여 본 연구와 유사하였다(Lee and Choi, 2019). 이러한 선행연구들은 감마선 조사가 김류의 성장 및 온도 적응성 향상에 효과적으로 작용할 수 있음을 보여준다. 본 연구에서도 참김 야생 계통주의 초기 형질 개선을 통해 성장 특성이 향상된 우량계통주를 확보하였으며, 이는 낮은 생산성으로 인해 산업적 활용이 제한되어 온 참김의 품종 개발 연구에 있어 기초 육종소재를 확보하였다는 점에서 의의가 있다.

야외 시험양식 결과에서도 두 우량계통주는 대조구에 비해 유의적으로 우수한 성장을 보였으며(One-way ANOVA, $P<0.001$), 특히 PT100G는 평균 엽장이 56.52 ± 3.49 mm로 나타나 대조구 대비 약 1.7배 빠른 성장을 나타내어 실내 실험 결과와 유사한 경향을 보였다. 일반적인 품종 개발에서는 실내에서 확인된 우수 형질이 실제 양식 환경에서도 안정적으로 발현되는지 평가하는 과정이 중요하며, 본 연구에서 선발된 우량계통주 역시 실내 및 야외 조건에서 일관된 생장이 확인되었다는

점에서 중요한 의미를 가진다. 다만, 본 연구에서 선발된 참김 우량계통주는 야생 계통주에 비해 생장이 향상되었으나, 현재 산업적으로 이용되고 있는 방사무늬김 수준의 생산성을 확보하기 위해서는 추가적인 품종 개량이 필요한 것으로 판단된다. 이는 현 단계에서 기존 양식 품종을 대체하기보다는 참김 고유의 특성을 유지하면서 생산성을 향상시키기 위한 지속적인 육종 연구가 필요함을 시사한다.

또한, 참김은 영양학적으로 우수한 형질을 가진 종으로 알려져 있으며(Noda and Horiguchi, 1975; Hwang et al., 2010; Nam et al., 2025), 일본에서는 1950년대부터 양식이 이루어진 사례가 보고된 바 있다(Miura and Aruga, 1987; Sano et al., 2020). 또한 인공종자생산 기술이 도입되기 이전인 1970년대에는 양식김에서 참김과 방사무늬김이 함께 확인되었다는 기록이 있다(Kang, 1970). 그러나 현재까지 참김에 대한 양식 연구 및 산업적 활용 사례는 제한적이다. 이러한 점에서 본 연구는 국내 토종 참김 계통주를 대상으로 감마선 돌연변이 육종과 양식시험을 수행하여 생장 특성과 양식 가능성을 평가했다는 점에서 의의가 있다. 또한 본 연구를 통해 확보된 결과는 향후 참김의 생산성 향상 및 환경 적응성 개선을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 지속적인 육종 연구가 이루어진다면 고부가가치 소재로의 활용 가능성도 기대된다.

한편, 최근에는 식품안전성 확보와 안정적인 생산체계 구축을 위해 김 육상양식에 대한 관심이 증가하고 있으며(Oh et al., 2020; Kim, 2026), 참김은 우수한 영양학적 특성을 바탕으로 육상양식에서 차별화된 품종으로 활용될 가능성이 있다. 현재 주요 양식종인 방사무늬김의 최적 생장 수온은 12–16°C로 알려져 있으나(Shin et al., 2018; Ma et al., 2020; Yin et al., 2022), 이러한 수온 조건은 일부 부착성 규조류 등 식물플랑크톤의 최적 증식 수온(15°C 이상)과 유사하여(Kaeriyama et al., 2011; Prella et al., 2021; Kim et al., 2023) 식물플랑크톤의 대량 발생 가능성이 증가할 수 있다. 이로 인해 육상양식 환경 관리에 어려움이 있을 수 있으며, 생산 안정성 확보를 위해 상대적으로 낮은 수온 조건의 활용이 요구된다. 본 연구에서 참김은 10°C에서 가장 우수한 생장을 나타내어(Fig. 3), 저수온 환경에서도 안정적인 생장 특성을 보였으며, 단백질, 무기질 및 아미노산 함량이 기존 양식종에 비해 우수한 것으로 보고되어(Nam et al., 2025), 향후 육상양식 기반의 고부가가치 품종으로 활용될 가능성이 높을 것으로 기대된다.

결론적으로, 본 연구에서는 국내 토종 참김 야생 계통주에 감마선 육종 기술을 적용하여 생장 및 온도 적응성이 향상된 우량계통주 PT100G와 PT500G를 선발하였다. 선발된 우량계통주는 실내 및 야외 양식시험에서 대조구 대비 유의적으로 빠른 생장을 보여, 품종 개발을 위한 기초 육종소재로서의 가능성을 확인하였다. 현 단계에서는 주요 양식 품종인 방사무늬김 대비 생산성이 낮아 즉각적인 산업 적용에는 한계가 있으나, 지속적인 품종 개량을 통해 생산성이 향상된다면 저수온 기반 육상양

식의 새로운 전락 품목으로서 산업적 활용 가능성이 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 해조류연구소 「기후변화 대응 김종자생산 고도화 및 고수온 내성 품종 산업화 연구, R2026021」 과제의 일환으로 수행되었습니다.

References

- Baek EY, So AR and Wui PY. 2026. Climate change and environmental drivers of Gim (*Pyropia yezoensis*) aquaculture: Evidence from Wando, South Korea. *Aquacult Int* 34, 106. <https://doi.org/10.1007/s10499-026-02489-z>.
- Beyaz R and Yildiz M. 2017. The use of gamma irradiation in plant mutation breeding. In: *Plant Engineering*. Jurić S, ed. IntechOpen, London, U.K., 33-46. <https://doi.org/10.5772/intechopen.69974>.
- Chen SS, Ding HC and Yan XH. 2016. Isolation and characterization of an improved strain of *Porphyra chauhanii* (Bangiales, Rhodophyta) with high-temperature resistance. *J Appl Phycol* 28, 3031-3041. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0803-x>.
- Ding HC, Huang LB and Yan XH. 2021. Low-salt tolerance of the thin-blade strain in *Pyropia haitanensis*. *Aquacult Int* 29, 387-397. <https://doi.org/10.1007/s10499-020-00637-7>.
- Ding HC, Liu CJ and Yan XH. 2019. Selection and characterization of an improved strain (ST-2) of *Pyropia haitanensis* by ⁶⁰Co-γ ray irradiation. *Aquac Res* 50, 2388-2397. <https://doi.org/10.1111/are.14120>.
- He B, Niu J, Xie X and Wang G. 2021. Development of free-living sporangial filaments regulated by light and culture density in *Neopyropia yezoensis*. *Algal Res* 58, 102378. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102378>.
- Heo JS, Park EJ, Hwang MS and Choi HG. 2021. Effect of shell-type, light and temperature on the shell infiltration of free-living conchocelis of three *Pyropia* species. *Korean J Fish Aquat Sci* 54, 23-30. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0023>.
- Hwang MS, Kim SM, Ha DS, Baek JM, Kim HS and Choi HG. 2005. DNA sequences and identification of *Porphyra* cultivated by natural seeding on the southwest coast of Korea. *Algae* 20, 183-196. <https://doi.org/10.4490/AL-GAE.2005.20.3.183>.
- Hwang MS, Kim SO, Lee YS, Park EJ, Kim SC, Ha DS, Gong YG, Baek JM and Choi HG. 2010. Isolation and characterization of pure lines of pigmentation and morphological mutants in *Porphyra tenera* Kjellman (Bangiales, Rhodophyta). *Korean J Fish Aquat Sci* 43, 495-502. <https://doi.org/10.5657/kfas.2010.43.5.495>.
- Kaeriyama H, Katsuki E, Otsubo M, Yamada M, Ichimi K, Tada

- K and Harrison PJ. 2011. Effects of temperature and irradiance on growth of strains belonging to seven *Skeletonema* species isolated from Dokai Bay, southern Japan. *Eur J Phycol* 46, 113-124. <https://doi.org/10.1080/09670262.2011.565128>.
- Kang JW. 1970. Species of cultivated *Porphyra* in Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 3, 77-92.
- Kim BT, Brown CL and Kim DH. 2019. Assessment on the vulnerability of Korean aquaculture to climate change. *Mar Policy* 99, 111-122. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.10.009>.
- Kim BT, Han IS, Lee JS and Kim DH. 2021. Impact of seawater temperature on Korean aquaculture under representative concentration pathways (RCPs) scenarios. *Aquaculture* 542, 736893. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736893>.
- Kim GH. 2026. Land-based *Pyropia* aquaculture in Korea. In: *Proceedings of the Wando International Seaweed Symposium*. Wando, Korea, 10.
- Kim GY, Jang KG, Go GM and Kim HS. 2023. Growth response in culture conditions for a clone of marine diatom *Melosira nummuloides* isolated from Jeju coastal waters. *Ocean Polar Res* 45, 201-209. <https://doi.org/10.4217/OPR.2023018>.
- Kim HS, Choi HG, Hwang MS, Jeon YJ, Yarish C and Kim JK. 2022. Concise review of the genus *Neopyropia* (Rhodophyta: Bangiales). *J Appl Phycol* 34, 1805-1824. <https://doi.org/10.1007/s10811-022-02776-1>.
- KMI (Korea Maritime Institute). 2017. KMI Global marine and fisheries industry information portal. Retrieved from <http://www.kmi.re.kr/globalnews> on May 16 2026.
- Lee HJ. 2021. Development of *Pyropia yezoensis* mutant with improved amino acid content using gamma rays. *Korean J Fish Aquat Sci* 54, 982-988. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0982>.
- Lee HJ and Choi JI. 2019. Enhancing temperature tolerance of *Pyropia tenera* (Bangiales) by inducing mutation. *Phycologia* 58, 496-503. <https://doi.org/10.1080/00318884.2019.1623547>.
- Lee HJ, Park EJ and Choi JI. 2019. Isolation, morphological characteristics and proteomic profile analysis of thermo-tolerant *Pyropia yezoensis* mutant in response to high-temperature stress. *Ocean Sci J* 54, 65-78. <https://doi.org/10.1007/s12601-018-0060-9>.
- Ma J, Xu T, Bao M, Zhou H, Zhang T, Li Z, Gao G, Li X and Xu J. 2020. Response of the red algae *Pyropia yezoensis* grown at different light intensities to CO₂-induced seawater acidification at different life cycle stages. *Algal Res* 49, 101950. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101950>.
- Ma Y, He L, Huan L, Lu X and Wang G. 2019. Characterization of a high-growth-rate mutant strain of *Pyropia yezoensis* using physiology measurement and transcriptome analysis. *J Phycol* 55, 651-662. <https://doi.org/10.1111/jpy.12842>.
- Miura A and Aruga Y. 1987. Distribution of *Porphyra* in Japan as affected by cultivation. *J Tokyo Univ Fish* 74, 41-50.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2025. Fisheries Information Portal. Retrieved from <http://www.fips.go.kr/p/main> on May 16 2026.
- Nam JY, Kim BY, Kim CS, Lee HJ, Hwang IK, Hwang HK and Heo JS. 2025. Proximate composition, mineral and amino acid of cultivated *Pyropia* species *Pyropia tenera* and *Pyropia yezoensis* in Korea. *Korean J Fish Aquat Sci* 58, 426-430. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2025.0426>.
- Noda H and Horiguchi Y. 1975. Studies on the flavor substances of 'nori', the dried laver *Porphyra tenera*-I. Dimethyl sulfide and dimethyl-β-propiethetin. *Nippon Suisan Gakkaishi* 41, 481-486. <https://doi.org/10.2331/suisan.41.481>.
- Oh HD, Oh SS, Shin HS and Shin HS. 2020. An empirical study for development of onshore Gim (*Pyropia yezoensis*) aquaculture system. *J Fish Bus Adm* 51, 15-24. <https://doi.org/10.12939/FBA.2020.51.2.015>.
- Oladosu Y, Rafii MY, Abdullah N, Hussin G, Ramli A, Rahim HA, Miah G and Usman M. 2016. Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: A review. *Biotechnol Biotechnol Equip* 30, 1-16. <https://doi.org/10.1080/13102818.2015.1087333>.
- Park EJ. 2023. Cross-breeding of *Neopyropia* spp. (Bangiales, Rhodophyta) using CAPS (Cleaved Amplified Polymorphic Sequence) markers. *Korean J Fish Aquat Sci* 56, 124-132. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2023.0124>.
- Prelle LR, Albrecht M, Karsten U, Damer P, Giese T, Jähns J, Müller S, Schulz L, Viertel L and Glaser K. 2021. Ecophysiological and cell biological traits of benthic diatoms from coastal wetlands of the southern Baltic Sea. *Front Microbiol* 12, 642811. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.642811>.
- Sano F, Murata K and Niwa K. 2020. Identification, growth, and pigment content of a spontaneous green mutant of *Pyropia kinositae* (Bangiales, Rhodophyta). *J Appl Phycol* 32, 1983-1994. <https://doi.org/10.1007/s10811-020-02085-5>.
- Sasuga K, Yamanashi T, Nakayama S, Ono S and Mikami K. 2017. Optimization of yield and quality of agar polysaccharide isolated from the marine red macroalga *Pyropia yezoensis*. *Algal Res* 26, 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2017.07.010>.
- Shin YJ, Min SR, Kang DY, Lim JM, Park EJ, Hwang MS, Choi DW, Ahn JW, Park YI and Jeong WJ. 2018. Characterization of high temperature-tolerant strains of *Pyropia yezoensis*. *Plant Biotechnol Rep* 12, 365-373. <https://doi.org/10.1007/s11816-018-0499-2>.
- Sokal RR and Rohlf FJ. 1995. *Biometry*. 3rd ed. WH Freeman, New York, U.S.A., 1-887.
- Yan N, Ding HC and Yan XH. 2024. Selection and characterization a new strain (PS-M4) of *Pyropia suborbiculata* with fast growth based on ⁶⁰Co-γ ray irradiation. *J Appl Phycol* 36, 2769-2780. <https://doi.org/10.1007/s10811-024-03268-0>.

Yin J, Lu A, Che T, He L and Shen S. 2022. A preliminary study on the mechanisms of growth and physiological changes in response to different temperatures in *Neopyropia yezoensis* (Rhodophyta). *Water* 14, 2175. <https://doi.org/10.3390/w14142175>.