

## 갈조류 톳의 포복지 재활용을 위한 친환경적 해적생물 구제: pH와 염분

황은경 · 유호창 · 김세미 · 유현일 · 백재민 · 박찬선<sup>1,\*</sup>

국립수산과학원 해조류바이오연구센터, <sup>1</sup>국립목포대학교 해양수산자원학과

## Environmentally Friendly Phytal Animal Removal for Re-use of Holdfasts of *Sargassum fusiforme* (Harvey) Setchell: pH and Salinity

Eun Kyoung Hwang, Ho Chang Yoo, Se Mi Kim, Hyun Il Yoo,  
Jae Min Baek and Chan Sun Park<sup>1,\*</sup>

Seaweed Research Center, NFRDI, Mokpo 530-420, Korea

<sup>1</sup>Department Marine Resources, Mokpo National University, Muan 534-830, Korea

**Abstract** - The brown seaweed *Sargassum fusiforme* is an edible and highly valued in Korea. During the summer season, phytal organisms graze heavily on young algal blades and holdfasts of the species and substantially reduce harvestable biomass. Here, in this study, we investigated the effects of pH (range: 2~13) and salinity (range: 0~44 psu) on the removal of two major phytal animals, *Caprella scaura* and *Gammaropsis utinomi*, associated with *S. fusiforme*. We also examined the optimum quantum yield (Fv/Fm) of algae in the same experimental conditions to quantify the tolerance of algae to acid and salinity treatments. It was observed that the phytal animals showed more than 80% mortality at pH lower than pH 4 and the extremes of salinity (0~10 psu and 44 psu) after a 5 min of immersion. However, the quantum yield of *S. fusiforme* was not significantly different from controls within the pH 3~11 range, and the 0~44 psu salinity range. Precisely, if the pH and salinity conditions outside these ranges were used in commercial *Sargassum* culture, the removal of the animal species would be higher, but with reduced quantum yield of algae. Taken together, our study results indicated that the pH and salinity treatments could allow multiple harvests from the same holdfast of *S. fusiforme*.

**Key words** : pH, phytal organism, salinity, *Sargassum fusiforme*

### 서 론

모자반류는 암반 지역의 연안에 주로 군락을 형성하면서 분포한다(McCook and Price 1997). 이들은 주로 어류

와 패류 등 유용 수산동물들의 산란장과 서식지 그리고 먹이 섭식의 공간을 제공하는 중요한 기능을 담당하고 있다(Coston-Clements *et al.* 1991; Tsukidate 1992).

우리나라에는 28종의 모자반류가 분포하고 있으며(Lee and Kang 2002), 이들 중 톳은 1980년대 중반부터 우리나라에서 양식이 되고 있다. 2012년 우리나라의 톳 양식 생산량은 13,024톤(Information officer 2012)이었으며, 생산

\* Corresponding author: Chan Sun PARK, Tel. 061-450-2396,  
Fax. 061-452-8875, E-mail. cspark85@mokpo.ac.kr

량의 90% 이상을 일본으로 수출하는 주요 양식 해조류이다 (Hwang *et al.* 1999).

툫의 양식 방법은 자연의 암반에 서식하는 약 10cm 길이의 어린 툫을 양식 로프에 끼우기 식으로 이식하여 양성하는 방법을 이용하거나, 5~6월경 양식장의 툫을 채취하고 양식 로프에 남겨진 포복지 (holdfast)의 재생력 (Hwang *et al.* 1994a, b)을 이용하여 다회 생산하는 방법이 보다 경제적인 방법으로 폭넓게 이용되고 있다 (Hwang *et al.* 1999). 그러나 이러한 툫 포복지의 다회 이용이 가능하기 위해서, 여름철 고수는 시기에 발생하여, 툫 포복지를 섭식함으로써 포복지의 탈락을 유발하는 해적생물의 구제가 필수적이다. 따라서 여름철 툫 포복지 관리를 위한 친환경적 해적생물의 구제는 툫 양식 어업인들뿐만 아니라 연안 양식어장의 지속적인 유지 관리에 있어서 매우 중요한 과제라 할 수 있다.

모자반류의 대표적인 해적동물로는 *Gammarides*와 *Caprellides*가 보고되어 있는데 (Thiel 2002; Sano *et al.* 2003), 이들 속을 대상으로 한 염분농도 변화에 대한 내성실험에서는 염분농도 12.97~18.84 psu에서 반수치사하는 것으로 나타났으며 (Takeuchi *et al.* 2003), *Gammarus* 속의 종들은 수소이온의 농도 변화에도 매우 민감하게 반응하는 것으로 보고되어 있다 (Gaston and Spicer 2001). 모자반 (*S. fulvellum*)의 경우 pH 및 염분내성을 이용하여 가이식과 양성 초기 어린 엽체를 식해하는 섭식동물을 구제하기 위한 방법이 Hwang *et al.* (2006)에 의하여 보고된 바 있다. 그러나 모자반은 생태적으로 조하대에 서식하는 종이며, 툫은 조간대 중부에 서식하는 종으로 모자반과 툫은 서로 다른 서식환경에 노출되어 생육함으로써 서로 다른 생리생태학적 특이성을 가져 이들의 pH 및 염분에 대한 내성범위에 있어 차이가 있을 것으로 판단된다.

본 논문은 툫 양식에서 환경친화적이면서 현장 적용성이 높은 실효성 있는 해적생물 구제 방법의 개발을 위하여, 툫의 광합성능 및 양식장 환경의 영향을 최소화할 수 있는 pH 및 염분농도의 조절 방법을 적용하여 환경친화적인 해적생물 구제법을 개발하고자 하였다.

## 재료 및 방법

툫 엽체와 해적생물 (*Gammaropsis utinomi*와 *Caprella scaura*)은 전라남도 진도군의 툫 양식장 (34° 38.075'N, 126° 15.743'E)에서 2013년 6월에 채집하였다. 채집 직후 즉시 실험실로 운반하여 우수식 사육 수조에 수용하였다. 툫 엽체는 멸균해수로 수 차례 세척 후 실험에 이용

하기 전 3일간 5L 크기의 실험용 여과 해수 [염분 33 psu; pH 8.0; 수온 15±0.5°C; 조도 100 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> 및 광주기 16:8 h (L:D) 조건] 수조에 수용하여 air를 공급하면서 순치 배양하였다. 해적생물은 툫 엽체를 채집하면서 툫 엽체에 부착된 상태로 함께 채집하였으며, 실험실에서 툫 엽체를 털어서 탈락된 해적생물을 sorting 하였다 (Takeuchi and Hirano 1991; 1992). 염분과 pH 내성 실험은 해적생물의 활력이 정상적으로 유지되는 채집한지 3시간 이내에 수행하였다.

pH 농도 범위는 여과해수에 1 M HCl과 1 M NaOH를 사용하여 각각 pH 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 및 13이 되도록 조정하였으며, 염분 농도 범위는 여과해수에 NaCl과 증류수를 사용하여 0, 3.5, 7, 10, 17, 30, 33, 36, 40 및 44 psu가 되도록 조정하였다. pH 및 염분의 측정은 각각 Thermo 290+pH meter (Orion, USA) 및 Multi parameter probe (USI-85, YSI Co. USA)로 측정하였다.

툫 엽체의 실험조건별 최적양자수율 (optimum quantum yield) 측정은 각각의 pH와 염분 농도별 처리구에 각각 5분과 20분간 침지 후 최적양자수율의 변화를 Portable modulated fluorimeter (Mini-PAM, Walz, Germany)로 측정하였다. 이때 툫 엽체의 암적응 방법은 각각의 pH와 염분 농도별 침지 후 엽체를 대조구의 해수로 옮겨 세척한 후, petri dish에 넣어 빛이 투과되지 않는 Ice box 내에서 5분간 유지하였다. 형광유도과정에서 나타나는 Fv/Fm 값은 광화학 반응에 대한 최적양자수율의 최대치를 의미하며, 이 값을 각 실험조건별 툫 엽체의 스트레스 지표 (Kooten and Snel 1990)로 사용하였다. 최적양자수율의 변화는 실험구마다 5개 반복구를 두어 평균값으로 결정하였다.

해적생물 구제율에 대한 pH 염분 실험구간별 유의성 분석은 분산분석법 (One-way ANOVA)을 이용하여 실시하였으며 (Zar 1984), 통계프로그램은 SPSS vers. 8.0과 SYSTAT vers. 9.0을 이용하여 0.05 수준에서 구하였다.

## 결 과

pH농도 및 침지시간별 툫의 최적양자수율은 Fig. 1과 같다. 툫 엽체를 5분간 각각의 pH 농도에 침지시켰을 때 (Fig. 1a), pH 3~11범위에서 툫의 최적양자수율은 대조구와 유의한 차이가 없었으며, pH 2와 pH 12~13에서만 유의한 감소를 보였다 (One way ANOVA, p<0.01). 툫 엽체를 20분간 각각의 pH 농도에 침지시켰을 때 (Fig. 1b), pH 4~11 범위에서는 툫의 최적양자수율이 대조구와 유의한

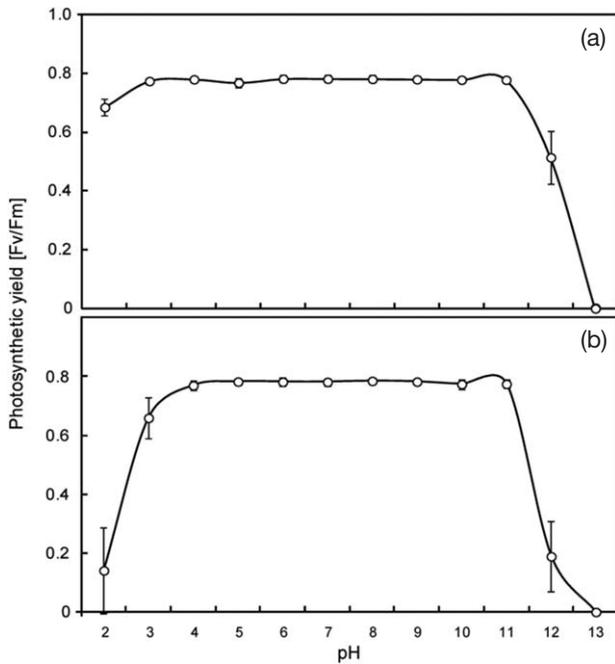


Fig. 1. Optimum quantum yields of *Sargassum fusiforme* after 5 min (a) and 20 min (b) exposure to different pH conditions. Vertical bars indicate SD (n=5).

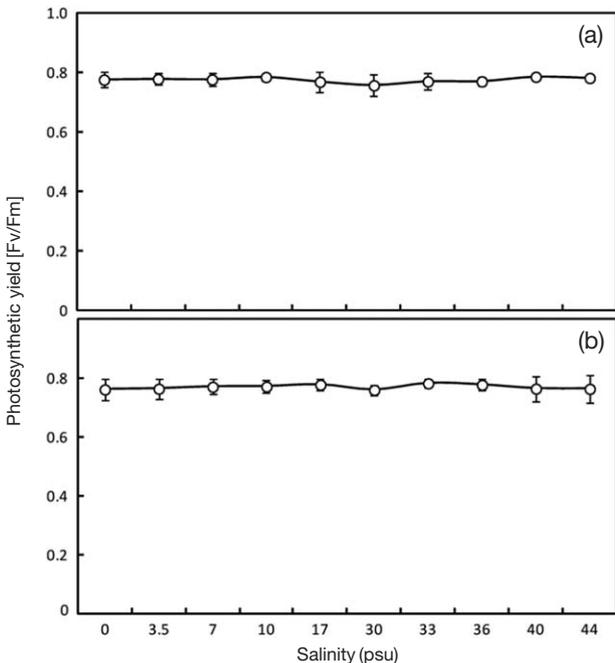


Fig. 2. Optimum quantum yields of *Sargassum fusiforme* after 5 min (a) and 20 min (b) exposure to different salinity concentrations. Vertical bars indicate SD (n=5).

차이가 없는 것으로 나타났다(One way ANOVA,  $p > 0.05$ ). 염분 농도 및 침지시간별 톳의 최적양자수율은 Fig. 2

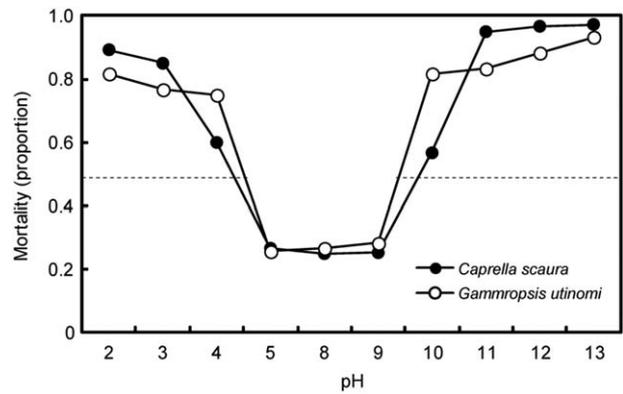


Fig. 3. Mortality of *Caprella scaura* and *Gammariopsis utinomi*, following 5 min exposure to pH between 2 and 13. LC indicates lethal concentration of percentile mortalities (n=20); the broken reference line indicates the lower 5 minutes of LC<sub>50</sub>.

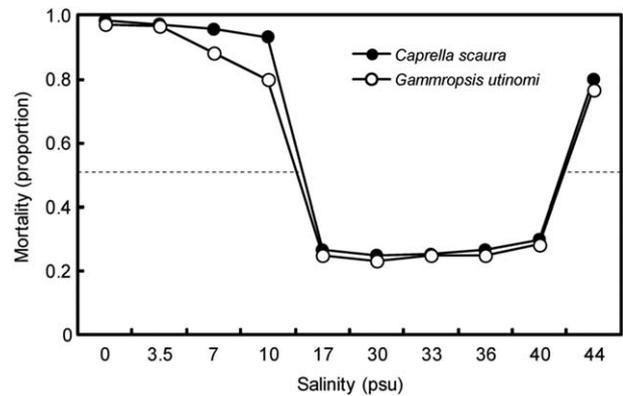


Fig. 4. Mortality of *Caprella scaura* and *Gammariopsis utinomi*, following 5 min exposure to salinities between 0 and 44. LC indicates lethal concentration of percentile mortalities (n=20); the broken reference line indicates the lower 5 minutes of LC<sub>50</sub>.

와 같다. 톳 엽체를 33 psu 염분 농도의 대조구(정상 해수)에 5분간 침지시켰을 때, 최적양자수율은 평균 0.7688이었으며, 5분 및 20분간 각각의 염분 농도에 침지시켰을 때, 모든 염분 농도 실험구에서 최적양자수율은 대조구와 유의한 차이를 나타내지 않았다.

각각의 pH 농도별 두 해적생물의 반수치사시간은 Fig. 3과 같다. pH 5 이하의 조건에 5분간 노출된 *C. scaura*와 *G. utinomi*의 사망률은 대조구에 비하여 크게 증가하였고, pH 2~3 및 pH 11~13 조건의 경우 약 80% 이상의 사망률을 나타내었으며, pH 5~9 실험구에서 사망률은 20% 이하로 나타났다. 두 해적생물간의 사망률에 차이를 보인 pH 4와 pH 10에서, 두 해적생물의 사망률은 유의한 차이를 나타내지 않았다(Fig. 3, One-way ANOVA,  $p >$

0.05). 각각의 pH 농도에서 5분간 침지시 *C. scaura*와 *G. utinomi*의 반수치사 농도는 pH 4.5로 나타났다(Fig. 3).

각각의 염분 농도별 두 해적생물의 사망률은 Fig. 4와 같다. 염분농도 7 psu이하의 실험조건에서 5분간 침지시 *C. scaura*와 *G. utinomi*의 사망률은 100%에 달하였으며, 10~17 psu 조건에서 사망률은 점진적으로 감소하였다(Fig. 4). 각각의 염분농도에서 5분간 침지시 *C. scaura*와 *G. utinomi*의 반수치사 농도는 13.5 psu로 나타났다(Fig. 4).

## 고 찰

조간대에 서식하는 해조류의 생장은 온도, 염분, 광량 등 여러가지 환경요인에 의해 영향을 받으며(Gendron 1989; Santelices *et al.* 1993), 건조에 견디는 능력을 가지고 있어, 일부는 건조 상태에서 경화(hardening)되는 능력을 갖기도 한다(Schonbeck and Norton 1978). 노출에 대한 해조류 엽체의 반응은 단순히 노출에 견디는 것뿐만 아니라 능동적으로 막 지질의 포화도를 변화시킴으로써, 세포의 붕괴를 감소시키고, 공기 중에 노출되었을 때 활발히 광합성을 수행함으로써, 해조류의 총탄소 고정에 공헌하게 된다. Phan Quang and Laur (1976)에 의하면 해조류는 단 며칠간의 노출에도 식물체는 다가올 노출에 대해 적응할 수 있다고 보고하였다.

본 연구 결과, 툫은 낮은 pH와 높은 pH 양쪽 모두의 조건에서 침지되었을 때 비교적 탄력적으로 반응하여 항상성이 유지되었으며, 툫의 pH와 염분내성 범위는 해적생물의 pH 및 염분 내성보다 넓은 것으로 나타났다(Figs. 1~4). 심지어 툫은 모든 염분 농도 실험구에서 20분(Fig. 2)뿐만 아니라 24시간 침지하였을 때에도 최적양자수율에 유의한 변화가 없었다. 이러한 툫의 폭넓은 pH와 염분내성은 Hwang *et al.* (2006)이 보고한 모자반(*S. fulvellum*)의 염분내성 범위보다 매우 넓은 것이다. 아마도 툫의 pH와 염분내성은 조간대에 서식하는 해조류로서 생리생태적인 적응 과정에서 얻어진 능력으로 보여지며, 이러한 생리생태적 특성을 해적동물 구제에 이용할 수 있음을 보여준다.

해조류를 섭식하는 해적동물인 Gammarus와 Caprellid는 자연상태의 모자반 군집에서 가장 우점하는 종류이며, 운동성이 거의 없으므로 주로 모자반류에 착생하여 생육하고(Takeuchi *et al.* 2003), 툫의 경우에도 모자반과 같이 연승식 양식장에서 고밀도로 발견되는, 툫의 주요 해적동물로 본 연구가 수행되었던 진도연안의 해조류 양식장에서도 마찬가지로 동일한 양상을 보였다.

일반적으로 해조류 양식에서 해적생물 구제는 김 양식장에서 파래류와 규조류 등의 제거를 목적으로 유기산 처리를 하거나 양식 밭의 노출선을 상하로 조절하여, 부착 및 서식 수층을 다르게 조절해 주는 물리적 해적생물 제거법이 이용되어 왔다. 그러나 툫은 수층의 조절만으로는 해적생물 제거가 어려우며, 툫 포복지의 재생력을 이용하여 다회 생산하기 위해서는 특히 여름철 포복지의 탈락을 방지하고, 엽체를 섭식하는 해적생물을 적극적으로 제거 및 구제할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서 얻어진 툫의 pH와 염분내성 범위를 이용하여, 툫에는 생리적 영향을 미치지 않는 친환경적인 해적동물 구제법으로서, pH 4 이하 조건과 pH 10 이상의 조건, 염분농도 10 psu 이하의 조건 및 44 psu 조건으로 처리하면 효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 실제 툫 양식장에서 해적생물 구제용으로 적용하기 위해서는 본 실험에서 설정된 시간보다 짧은 처리 시간이 효율적이므로 pH 2 조건에서 5분 이내, 담수(0 psu)조건에서 5분 이내 처리하는 방법을 이용할 수 있다.

## 적 요

본 연구에서는 툫 양식에서 pH 및 염분농도의 조절에 의한, 환경친화적인 해적생물 구제 방법을 개발하고자 하였다. 이를 위하여 툫의 내성범위를 구하고, 친환경적인 해적생물 구제법을 확립하고자 하였다. 툫에는 생리적 영향을 미치지 않는 친환경적인 해적동물 구제법으로서, pH 4 이하 조건과 pH 10 이상의 조건, 염분농도 10 psu 이하의 조건 및 44 psu 조건에서 효과가 있는 것으로 나타났다.

## 사 사

본 논문은 국립수산물과학원의 연구비지원(RP-2014-AQ-124)와 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원 사업으로 수행된 연구임(2009-0093828).

## REFERENCES

- Coston-Clements L, LR Settle, DE Hoss and FA Cross. 1991. Utilization of the *Sargassum* habitat by marine invertebrates

- and vertebrates, a review. NOAA Technical Memorandum NMFSSEFSC-296, 32pp.
- Gaston KJ and JI Spicer. 2001. The relationship between range size and niche breadth: a test using five species of *Gammarus* (Amphipoda). *Global Ecol. Biogeogr.* 10:179-188.
- Gendron L. 1989. Seasonal growth of the kelp *Laminaria longicruris* in Baie des Chaleurs, Quebec, in relation to nutrient and light availability. *Bot. Mar.* 32:345-354.
- Hwang EK, CH Kim and CH Sohn. 1994a. Callus-like formation and differentiation in *Hizikia fusiformis* (Harvey) Okamura. *Korean J. Phycol.* 9:77-84.
- Hwang EK, CS Park and CH Sohn. 1994b. Effects of light intensity and temperature on regeneration, differentiation and receptacle formation of *Hizikia fusiformis* (Harvey) Okamura. *Korean J. Phycol.* 9:85-94.
- Hwang EK, DS Ha, JM Baek, MY Wee and CS Park. 2006b. Effects of pH and salinity on the cultivated brown alga *Sargassum fulvellum* associated animals. *Algae* 21:317-321.
- Hwang EK, YC Cho and CH Sohn. 1999. Reuse of holdfasts in *Hizikia* cultivation. *J Korean Fish. Soc.* 32:112-116.
- Information Officer. 2012. Statistical yearbook of ocean and fisheries, Ministry of Ocean and Fisheries. <http://fips.go.kr/main.jsp> downloaded 15 June 2013.
- Kooten O and JFH Snel. 1990. The use of chlorophyll fluorescence nomenclature in plant stress physiology. *Photosynth. Res.* 25:147-150.
- Lee YP and SY Kang. 2002. A catalogue of the seaweeds in Korea. Cheju National University Press, Korea.
- McCook LJ and IR Price. 1997. Macroalgal distributions on the Great Barrier Reef: a review of patterns and causes. In: *Proceedings of the Great Barrier Reef: science, use and management, a national conference, vol 2, GBRMPA, Townsville, 25-29 November 1996.*
- Phan Quang L and MH Laur. 1976. Teneur, composition et répartition cytologique des lipides polaires sulfurés et phosphorés de *Pelvetia canaliculata* (L.) Decn. Et Thur., *Fucus verticilosus* (L.) et *Fucus serratus* (L.). *Phycologia* 15:367-375.
- Sano M, M Omori and K Taniguchi. 2003. Predator-prey systems of drifting seaweed communities off the Tohoku coast, northern Japan, as determined by feeding habit analysis of phytal animals. *Fish. Sci.* 69:260-268.
- Santelices B, R Westermeier and M Bobadilla. 1993. Effects of stock loading and planting distance on the growth and production of *Gracilaria chilensis* in rope culture. *J. Appl. Phycol.* 5:517-524.
- Schonbeck MW and TA Norton. 1978. Drought-hardening in the upper shore seaweeds *Fucus spiralis* and *Pelvetia canaliculata* J. *Ecol.* 67:687-696.
- Takeuchi I and R Hirano. 1991. Growth and reproduction of *Caprella danilevskii* (Crustacea: Amphipoda) reared in the laboratory. *Mar. Biol.* 110:391-397.
- Takeuchi I and R Hirano. 1992. Duration and size of embryos in epifaunal amphipods *Caprella danilevskii* Czerniavski and *C. okadai* Arimoto (Crustacea: Amphipoda: Caprellidea). *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 164:161-169.
- Takeuchi I, M Matsumasa and S Kikuchi. 2003. Gill ultrastructure and salinity tolerance of *Caprella* spp. (Crustacea: Amphipoda: Caprellidea) inhabiting the *Sargassum* community. *Fish. Sci.* 69:966-973.
- Thiel M. 2002. The zoogeography of algae-associated peracarids along the Pacific coast of Chile. *J. Biogeogr.* 29:999-1008.
- Tsukidate J. 1992. Ecology of *Sargassum* spp. and *Sargassum* forest formation. NOAA Tech. Rep. NMES 106:63-73.
- Zar JH. 1984. *Biostatistical Analysis* Prentice Hall, Engelwood Cliffs, NJ.

Received: 28 October 2014

Revised: 10 November 2014

Revision accepted: 12 November 2014