

프라이밍 및 종자펠렛 제조를 통한 물푸레나무와 물오리나무의 발아율 향상 및 성장증대 효과

박해일 · 심훈섭 · 최리나 · 조현길* · 한승호** · 이재근*** · 유창연*** · 임정대†

강원대학교 생약자원개발학과, *강원대학교 조경학과, **(주)한설그린, ***강원대학교 식물자원응용공학과

Effect of Priming and Seed Pellet Technique for Improved Germination and Growth in *Fraxinus rhynchophylla* and *Alnus sibirica*

Hae il Park, Hoon Seob Shim, Li Na Choi, Jo Hyeon Gil*, Han Seung Ho**, Jae Geun Lee***, Chang Yeon Yu*** and Jung Dae Lim†

Department of Herbal Medicine Resources, Kangwon National University, Samcheok 245-907, Korea.
*HANDSEL GREEN Co. Ltd., Seoul 476-801, Korea.

**Department of Landscape Architecture, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.

***Department of Applied Plant Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea.

ABSTRACT : This study was carried out to select new pelleting binder and material for seeds from *Fraxinus rhynchophylla* Hance and *Alnus sibirica* Fisch. ex Turcz. The optimum treatments of the various concentrations and species of priming agents to improve seed germination of both woody medicinal plants were also estimated. Germinability was increased when the seeds of *Fraxinus rhynchophylla* Hance was soaked in -1.0 MPa of PEG6000 solution at 15°C for 4 days significantly, the optimum treatment for improving germination of *Alnus sibirica* Fisch. ex Turcz was observed when the tested seeds was soaked in 100 mM of KCl at 15°C for 4 days. The influence of physical and chemical properties of pelleting solid materials, the mixture of gypsum, diatomaceous earth, dalma ceramic and vermiculite (6:1:1:1 ratio) were found as the best pelleting materials for *Fraxinus rhynchophylla* Hance and *Alnus sibirica* Fisch. ex Turcz. seeds. To satisfy the requirements of absorption and compatibility for multi-layer seed pelleting, SGPA (Starch-grafted cross-linked polyacrylates) hydrogel was prepared using starch, acrylonitrile, ceric ammonium nitrate, nitric acid, methyl alcohol and potassium hydroxide. The resulting SGPA hydrogel showed high water absorption but not plant compatibility. It suggested that seed pelleting using pelleting materials and SGPA hydrogel (multi-layer coating) after priming agent treatment is to increase germinability and seedling growth and it can reduced irrigation labours and can also save seed.

Key Words : Seed Pellet, Hydrogel, Priming, *Fraxinus rhynchophylla* Hance, *Alnus sibirica*

서 언

물푸레나무 (*Fraxinus rhynchophylla* Hance)와 물오리나무 (*Alnus sibirica* Fisch. ex Turcz)는 낙엽활엽수로서 우리나라 전국의 산기슭이나 골짜기에 자생하는 목본성 약용작물에 해당한다. 물푸레나무의 수피는 회갈색 또는 흑갈색에 희색 반점이 있으므로 백침목 또는 백심목이라고 부르기도 하며 어릴 때는 푸른색의 수피를 갖기 때문에 청피목 또는 진피수라고도 한다 (Kim *et al.*, 1998). 목본류 생약과 유사하게 수피를 이용하는데 이를 진피 (秦皮)라 하며 눈병과 이질, 여성의 대하, 냉증 등에 사용되어 왔으며 소염, 수렴, 해열 등의 효능 (Hur,

1994)을 나타낼 뿐 아니라 물푸레나무 숲을 이용한 염색제로의 활용성이 검토되고 있다 (Kim *et al.*, 2003). 현재까지 보고된 물푸레나무의 성분으로 수피에서 aesculin, aesculetin, 5-methoxyaesculetin, 6,7-dimethoxy-8-hydroxycoumarin, ligstroside, oleuropein (Ham *et al.*, 1997; Liu *et al.*, 2003)와 수피의 에탄올 추출물로부터 daucosterol 성분인 β -sitosterol-3-O- β -D-glucopyranoside과 coniferaldehyde glucoside가 분리 보고 (Yang *et al.*, 2007)된 바 있으며 생리활성 연구도 nitric oxide 합성 저해효과 (Kim *et al.*, 1999)와 DPPH 자유라디칼 소거활성 검정 (Kim *et al.*, 2005)이 이루어져 있다.

물오리나무의 수피는 검은빛이 도는 짙은 갈색이고 희색의

†Corresponding author: (Phone) +82-33-540-3323 (E-mail) ijdae@kangwon.ac.kr

Received 2012 November 20 / 1st Revised 2012 December 5 / 2nd Revised 2012 December 15 / Accepted 2012 December 26

피복이 있으며 어린가지에 털이 밀생하여 있고 겨울눈에 털이 나 있는 특징을 가지는데 껍질을 달여 산후 피듬이약, 위병약으로 사용하고 눈염증, 류머티즘, 목구멍 염증 및 선병에 씻거나 입가심용으로 사용하기도 한다고 보고 (Hwang *et al.*, 2009)되고 있다. 오리나무 속에는 diaryhepanodie 계열 화합물을 포함한 flavonoid와 tannin 계열의 페놀성 화합물이 포함되어져 있다고 알려져 있으며 (Kuroyanagi *et al.*, 2005) 수피의 수용성 분획과 ethylacetate 분획에서 oregonin과 1,7-bis-(3,4-dihydroxyphenyl)-heptane-5-O-β-D-xylopyranoside 를 분리 동정하였으며 oregonin 가수분해산물을 대상으로 DPPH 자유라디칼 소거활성을 검정한 결과 IC₅₀ 값이 2.6 μg/ml 로 높은 수준으로 나타났다고 보고되어지고 있다 (Hwang *et al.*, 2009).

천연물의약품의 개발에 있어 새로운 유용소재의 발굴의 필요성이 증대됨에 따라 기존 한약재로 사용되지 않으나 활성이 높은 약용식물을 작물로서 개발하는 것이 필요하고 재배화 달성 및 작부체계를 확립하는 것은 매우 중요하다고 하겠다. 하지만 물푸레나무나 물오리나무와 같은 목본성 생약을 실생번식을 통해 번식하고자 하는 경우, 목본성 생약의 종자의 크기가 1 mm 이하인 경우가 많고 발아 및 입모가 불안정하며 초기생육이 부진하여 잡초와의 경합의 실패, 종자 유실이 일어나는 경우가 많을 뿐 아니라 생육에 있어서도 단계마다 수분요구도가 서로 상이하여 특정시기에 많은 양의 수분을 요구하는 특성을 가지고 있어 종자를 통한 번식에 문제점이 발생하고 있다.

작부체계 구성에 있어서도 목본성 생약의 식재는 묘상에서 육묘하여 특정 년수 이상의 수목이 일정 크기 이상이 되면 본포에 정식하는 방식을 택하고 있으나 일정크기의 수고에 이르기까지 수목을 키워 본포에 정식하는 것은 목본성 생약에 대한 가격의 상승 및 관리비용의 상승을 나타내고 있으므로 묘상 설치와 이식 작업을 생략할 수 있는 직파재배 기술 개발이 요구되고 있다. 따라서 목본성 생약의 실생번식에 있어 포장에서의 발아, 입모율을 안정시키기 위해서는 파종에서 출현까지의 기간을 단축시켜 종자가 발아 시 받을 수 있는 환경 스트레스를 최소화 할 수 있는 방안을 모색하여야 하며 유묘의 초기생육을 촉진시키고 목본성 생약에 자주 발생하는 입고병 등을 예방하는 일련의 복합적인 재배방법 (Agrawal *et al.*, 1988; Haigh and Barlow, 1987)으로 환경 적응력을 향상시켜야 한다. 목본성 생약의 이러한 실생 번식의 문제점을 해결하기 위한 대안기술로 종자처리기술이 사용되고 있는데 종자 처리 기술은 프라이밍 (priming), 코팅 (coating), 펠릿 (pellet) 제조 등이 사용되고 있고 (Dadiani *et al.*, 1992; Bulan, 1991), 그 중 코팅이나 펠릿 제조기술은 소립종이거나 종자의 크기나 모양이 불균일하여 기계파종에 적합하지 않거나, 손으로 다루기 힘든 종자를 대상으로 발아에 영향을 미치지 않는 불활성

재료를 이용하여 종자의 크기와 모양을 성형시키는 기술 (Kang *et al.*, 2003)이며, 프라이밍 약제 처리 기술은 발아소요일수의 단축과 균일한 발아 및 발아잠재력의 증진, 규격묘 생산과 수량 증대 등의 목적으로 처리약제의 종류, 농도 (Dahal *et al.*, 1990; Suzuki *et al.*, 1990), 처리기간 및 온도 (Atherton and Farooque, 1983; Sachs, 1977)를 서로 달리하여 종자를 전처리한 후 파종하는 기술이다.

이러한 종자 전처리 기술 중 프라이밍 처리 기술은 주로 채소류에 대해 적용되고 있으나 (Haigh and Barlow, 1987) 작물의 종류에 따라 유사한 종이라도 서로 다른 프라이밍 약제 및 농도, 처리시간, 온도를 요구한다고 보고 (Afzal *et al.*, 2008; Bittencourt *et al.*, 2004) 되어지고 있어 물푸레나무나 물오리나무와 같은 목본성 약용작물의 발아율 향상과 발아소요일수를 단축, 균일한 묘 생산을 위해 최적 프라이밍 조건을 확립하는 것이 필요하다. 또한 종자 펠릿화 기술은 미국이나 일본, 유럽의 경우 미세종자나 부정형 종자는 기계 또는 손파종 시 취급하기 어렵기 때문에 종자 펠릿화를 통한 재배화가 상용화 되고 있으나 국내에서는 당근 (Kang *et al.*, 2007), 파 (Kang, 2002), 상추 (Kang, 2004), 양파 (Cho *et al.*, 2001)와 같은 종자의 크기가 비교적 작은 원예작물을 대상으로 일부 상용화 되어 있고 들깨, 벼 등에 적용 가능성을 검토하는 연구가 많이 진행되었으나 실용화 된 것은 많지 않은 실정이다. 약용작물을 대상으로 하는 종자 전처리 기술은 프라이밍 약제 처리기술은 많은 연구가 진행되고 있으나 종자 펠릿화 기술은 더덕 (Choi *et al.*, 2006)이나 택사 (Kwon *et al.*, 2005)와 같은 초본성 약용작물의 경우에 부분적으로 실시되고 있는 반면 목본성 약용식물의 경우에는 검토된 바 없다.

따라서 목본성 약용식물을 재배화하고 작부체계를 확립하기 위하여 실생번식을 사용하는 경우 수목의 종자의 활력을 증가시키고 종자가 발아하기 위한 대사작용을 촉진하기 위하여, 최적의 프라이밍 처리 공정을 확립하고 펠릿 종자의 제조를 통해 재배관리에 요구되는 노력과 비용을 절감할 수 있는 생력화 재배기술을 확립하고자 하였다. 이를 위하여 생리활성적으로 우수할 것으로 판단되는 생약소재 중 물푸레나무와 물오리나무를 대상으로 하여 서로 다른 온도와 시간 조건 하에, 여러 농도의 Ca(NO₃)₂, KNO₃, MgSO₄, NaNO₃, KCl, K₃PO₄, NH₄NO₃, PEG 6000PEG (polyethylene glycol) 등의 프라이밍 용액에 전처리함으로써 종자 발아를 위한 최적의 프라이밍 약제 및 농도를 선발하였으며 프라이밍 처리된 종자를 대상으로 하여 펠릿 종자를 제조할 때 적당한 피복물질의 조합과 접착제의 선발하였고 수분공급을 위한 기능성 소재의 첨가에 따른 다층종자펠릿 (multi-layer seed pellet) 제조를 통해 물푸레나무와 물오리나무의 발아율을 향상시키고 생육증대 효과를 달성하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험 재료

본 연구에 사용한 물푸레나무 및 물오리나무의 종자는 2009년 11월 25일부터 동년 동월 12월 16일까지 채취한 국내 자생종 (강원 삼척, 전남 무안)을 사용하였으며 물푸레나무의 경우 종자에 부착되어 있는 날개를 제거하여 사용하였다.

2. 물푸레나무와 물오리나무 종자의 최적 프라이밍 약제의 종류 및 농도의 선발

프라이밍 처리 약제로는 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KNO_3 , MgSO_4 , NaNO_3 , KCl , K_3PO_4 , NH_4NO_3 (대정화금, 한국) 및 Polyethylene glycol 6000 (대정화금, 한국) 등을 사용하였다. 약제 농도는 PEG 6000은 Michel과 Kaufmann (1973) 방법에 따라 -0.75 Mpa, -1.0 MPa, -1.5 MPa 및 -1.75 MPa로 구분하였으며, 그 외 약제들은 공히 각각 100 mM, 150 mM 및 250 mM로 수준을 달리하였다. 종자처리 Jeong 등 (1994)의 방법에 의거 15°C와 20°C에 종자를 암 상태에서 4일 간 프라이밍 처리를 하였다.

처리 후 종자는 수돗물에 15분간 씻어서 35°C에서 2시간 건조 후 15°C에서 2일간 더 건조시킨 후 실온에서 4일간 방치해 수분평형을 이루게 한 후 실험재료로 사용했다. 각각의 프라이밍 처리된 물푸레 및 물오리나무종자의 발아 조사는 플라스틱 발아상자 (11×11×3 cm, Sigma, USA)에 paper towel (10×10 cm)를 두 겹으로 깔고 종자를 50립씩 넣고 그 위에 증류수 20 ml 씩을 부어 6반복으로 파종하여 Burris 등 (1977)의 방법으로 20°C의 암상태의 항온기에 치상하여 치상 후 10일까지는 12시간 간격으로, 11일부터는 1일 간격으로 전체 20일 동안 발아 여부를 조사하였다. 발아의 여부는 유근이 1 mm 이상 나온 것을 발아한 것으로 간주하였으며, 발아세 (Germination rates)는 ISTA (International Seed Testing Association)와 AOSA (Association of Official Seed Analysts) 방법으로 파종 후 6일까지의 발아율로 표시함으로써 프라이밍 처리된 종자의 발아환경적응성 정도를 검정하였고 최종발아율은 종자파종 20일 전 기간 동안에 전체 파종수에 대한 발아율로 계산하였다.

3. 프라이밍 약제가 처리된 물푸레나무와 물오리나무의 종자펠릿 제조

1) 피복물질 및 접착제 선발

프라이밍 처리된 물푸레나무와 물오리나무를 대상으로 하여 종자펠릿을 제조하기 위해 펠릿제조기는 Seed Processing Holland B. V. (Type 9103.00.00, Netherland)를 사용하였고,

회전수의 조절이 가능하며 회전판의 경사도를 조절할 수 있도록 하는 Seed Pelleting Unit을 구성하였다. 펠릿종자 제조 방법은 종자펠릿 제조기의 회전수를 150~200 rpm, 경사도는 60°로 조절한 다음 회전판에 종자를 넣고 피복물질을 소량씩 주기적으로 투입하면서 접착제(아리비아 고무 8% 수용액, PVA 3%, CMC 1%)를 미세한 노즐로 분무해 종자펠릿의 모양과 크기를 조절하였으며, 피복물질 및 접착제를 포함한 1차 펠릿 제조물에 사용된 각 소재를 동일한 방법으로 첨가하여 펠릿화 하였다. 제조된 펠릿종자는 30~40°C의 온도에서 2~3 시간 충분히 건조시켜 mesh로 크기를 구분한 다음 slide caliper (CD-15C, Mitutoyocorporation, Japan)로 입경을 조사하였다. 종자피복물질은 사용되는 종자의 피복물질에 따라 달리 조절되었으나 약 40% 수준으로 조절하였으며 다층 펠릿종자 제조를 위해서 종자두께의 약 3배의 두께로 적용하였다. 피복물질은 zirconium silicate, pagodite, bentonite, 규조토, 석고를 단용으로 처리하였고 석고, 규조토, 버미큐오라이트, 달라세라믹 등을 비율별로 혼합하여 사용하였으며 다중층 종자펠릿 제조에서는 펠릿 형성의 최적 조건으로 확립된 석고, 규조토, 달라세라믹, 버미큐오라이트를 6:1:1:1의 비율로 혼합된 피복물질을 1차적으로 피복하고 다시 starch-grafted cross-linked polyacrylates를 1.5% 수준으로 첨가하여 종자펠릿을 제조하였다.

2) 피복물질 별 종자펠릿의 특성 비교

다양한 종자 펠릿화 피복물질을 이용하여 제조된 종자펠릿의 전기전도도와 pH를 예측하기 위하여 피복에 사용된 단용 및 혼합 피복물질을 5배의 물을 가하여 희석한 후 추출하고 추출된 추출물을 여과지 (whatman #2)로 여과하여 얻은 여과액에 대상으로 하여 전기전도도와 pH를 측정하였다. 전기전도도는 Conductivity/Temperature meter (CM-20J, DKK-TOA corporation, Japan)를 이용하여 측정하였고, 각 추출물의 pH를 Sartorius pH meter (PB-11, Satorius AG, Germany)를 사용하여 측정하였다.

다양한 종자 펠릿화 피복물질을 이용하여 종자펠릿을 만들었을 때 외형이 거친 것(-), 펠릿이 형성되었으나 모양이 매끈하지 않고 울퉁불퉁하거나 펠릿이 고르지 못해 상품가치가 없는 것(+) 및 모양이 둥글고 매끈하며 매우 우수한 것(++) 등으로 모양형성 정도를 나타내었고, 수분 흡수 후 열개성 정도는 쪼개지지 않은 것(-), 금만 간 것(+) 및 완전히 갈라진 것(++) 등으로 구분하여 유관으로 조사하였다. 제조된 종자펠릿의 경도는 과실경도계 (FHM-5형, Japan)를 이용하여 수직으로 압박하여 깨어질 때의 압력 (kg/cm²)으로 표시하였다.

3) Starch-grafted cross-linked polyacrylates hydrogel (SGPA)을 이용한 다중층 종자펠릿 제조

SGPA hydrogel의 제조는 Park 등 (2005)에 의한 방법을

적용하여 사용하였다. 즉 167 ml의 증류수가 들어 있는 3구 플라스크에 20 g의 수용성 전분 (Corn, amylopectin 73%, amylose 27%, Sigma, USA)을 가하고 응축기를 부착하여 질소충진 하에 95°C에서 1시간 가열 용해시켜 호화된 균일상의 수용성전분을 얻는다. 다시 온도를 30°C로 내린 후 교반하면서 적당량의 아크릴로니트릴 (AN, Junsei Inc. Japan)을 가하고 1N의 질산 3 ml를 0.338 g의 ceric ammonium nitrate (CAN, Sigma, USA)에 용해시킨 CAN수용액을 가하여 30°C에서 2시간 동안 중합을 수행하였다. 중합이 완료된 후 1N의 수산화칼륨을 가하여 중성으로 만든 후 과량의 메탄올을 가하여 중합체를 침전시키고 글라스 필터로 여과하고 다시 메탄올로 세척한 후 상온 감압 하에서 24시간 건조하였다. 건조한 중합체의 무게를 칭량하여 AN의 총 중합수율을 구하고, 이를 DMF (Dimethyl Formamide-N,N)에 침지하여 단독 폴리아크릴로니트릴 (PAN)을 추출 제거시키고 메탄올로 재 침전시킨 공중합체를 건조시켜 순수한 SGPA의 그래프트 중합체를 얻었다. 얻어낸 SGPA 2g을 1.3 N의 KOH로 가수분해하였다. 가수분해 후 메탄올로 수차례 세척 후 60°C에서 감압건조하여 hydrogel을 제조하였다.

제조된 SGPA hydrogel의 흡수량 측정을 위하여 칭량한 SGPA hydrogel를 약 100 ml의 증류수에 침지시키고 상온에서 6시간 방치한 후 sieve를 사용하여 물과 팽윤된 SGPA를 분리하고 SGPA의 표면에 부착되어 있는 물은 팽윤된 hydrogel을 6시간동안 공기 중에 방치하여 제거한 후 칭량하였다. 흡수에 의한 시료의 무게증가로부터 다음 식을 이용하여 SGPA의 흡수량을 계산하였다.

흡수량 (g·H₂O) = [흡수한 무게 (g) - 흡수전의 무게 (g)] / 흡수전의 무게 (g)

또한 종자펠렛 제조 시 첨가된 starch-grafted cross-linked polyacrylates (SGPA) hydrogel이 육묘과정 중 유식물체로의 안정적인 수분 공급이 가능한지 여부를 측정하기 위하여 물푸레나무를 대상으로 하여 원종자와 종자펠렛 제조 시 첨가된 starch-grafted cross-linked polyacrylates (SGPA) hydrogel이 펠렛화 된 종자펠렛을 대상으로 파종 직후 1회 관수 한 후 80일 간 관수하지 않는 처리구를 두었고 파종 후 발아를 확인하고 생육 30일 이후에 원종자 파종 처리구와 SGPA가 첨가된 종자펠렛 파종 처리구에서의 생육을 유관으로 비교하였다.

3. 펠렛종자의 발아 조사

각각의 처리구에서 형성된 물오리나무 펠렛종자의 발아 조사는 플라스틱 발아상자 (Sigma, 11 × 11 × 3 cm)에 paper towel (10 × 10 cm)를 두 겹 깔고 종자를 50립씩 넣고 그 위에 증류

수 20 ml씩을 부어 6 반복으로 파종하여 Burris 등 (1977)의 방법으로 20°C의 암상태의 항온기에 파종하여 치상 후 10일까지는 12시간 간격으로, 11일부터는 1일 간격으로 전체 20일 동안 발아 여부를 조사하였는데, 유근이 1 mm 이상 나온 것을 발아한 것으로 간주하였으며, 발아세는 ISTA (International Seed Testing Association)와 AOSA (Association of Official Seed Analysts)방법으로 파종 후 10일까지의 발아율로 표시하고, 최종발아율에 대한 50% 발아에 소요되는 일수 (T₅₀)는 Coolbear 등 (1984)의 공식을 이용하여 계산하였다.

$$T_{50} = t_i + (t_j - t_i) \times (N/2 - n_i)/(n_j - n_i)$$

N: 최종 발아 조사기간까지 발아된 전체 종자 수
 n_i: N에 대한 50% 직전까지 발아된 종자 수의 합계
 n_j: N에 대한 50% 직후에 발아된 종자 수의 합계
 t_i: n_i 시점까지 소요된 발아기간
 t_j: n_j 시점까지 소요된 발아기간

4. 종자펠렛의 직파 재배

종자펠렛의 직파재배에 따른 생육 증대 효과를 검증하기 위하여 물푸레나무와 물오리나무 원종자와 최적화 된 프라이밍 조건이 처리된 종자를 펠렛종자를 제조하였다. 펠렛화는 펠렛 제조 시 유효한 펠렛모양 및 경도, 열개성, 안정된 pH 및 EC의 값을 나타내는 석고 + 규조토 + 달마세라믹 + 버미큘라이트 (6:1:1:1)의 혼합물을 이용하여 조제하여 사용하였으며 다중층 종자펠렛 제조에서는 석고 + 규조토 + 달마세라믹 + 버미큘라이트의 혼합물을 이용하여 조제한 펠렛종자에 다시 starch grafted cross-linked polyacrylates를 1.5%의 수준으로 적용하여 2층으로 구성된 다중층 종자펠렛을 대상으로 하였다. 사용된 종자펠렛의 규격은 1립/pellet이고, 직경이 2.8~3.9 mm 내외의 크기를 사용하였다. 104구 수목용 묘목상에 1 립씩 각각 인력으로 파종하였다. 파종 후 발아를 돕기 위해 3일 간격으로 관수하였으며 발아 및 출현조사는 ISTA (International Seed Testing Association)와 AOSA (Association of Official Seed Analysis) 방법으로 조사하였다. 생육조사는 파종한 후 발아가 확인된 후 30일과 60일로 나누어 초장과 잎 수, 엽면적을 측정하였으며 초장 및 잎 수는 유관으로 실측하여 관찰하였고, 엽면적은 각 식물마다 LI-3000 엽면적 측정기 (LI-COR., Lincoln, USA)를 이용하여 측정하였으며 80일 이후에 생체량을 측정하였다.

5. 통계처리

프라이밍 약제의 종류 및 농도에 따른 발아율, 발아세, 원종자와 종자펠렛의 생육상 비교에서 얻어진 각 자료를 SAS 프로그램 (SAS, 2000)을 이용하여 ANOVA에 의한 Duncan

프라이밍 및 종자펠릿에 의한 물푸레나무와 물오리나무의 생육증대 효과

(DMRT, Duncan Mutiple Range Test) 검정을 이용하여 통계 처리 하였고 상관계수 (Correlation coefficient)를 산출하였다.

결과 및 고찰

1. 물푸레나무와 물오리나무의 종자를 대상으로 한 최적의 프라이밍 약제의 종류 및 농도

물푸레나무와 물오리나무의 종자를 대상으로 하여 최적의 프라이밍 약제의 종류 및 농도를 선발하기 위해 서로 다른 온도에서 각 프라이밍 약제를 농도별로 처리하고 20일 이후에 발아율을 조사한 결과는 Table 1 및 Table 2와 같다. 적정 프라이밍 처리 기간은 물푸레나무와 물오리나무 모두에서 4일

로 나타났으며 (자료 미제시), 프라이밍 약제 종류와 농도에 따른 발아율을 조사한 결과 처리 약제 및 농도 간에 많은 차이를 나타내었다. 프라이밍 처리 후 발아율을 살펴본 결과 물푸레나무의 경우 15°C에서 -1.0 MPa의 PEG 6000 농도에서 64.0%, -1.5 MPa의 PEG 6000 농도에서 42.6%로 프라이밍 처리를 하지 않은 대조구의 발아율 38.6% 보다 높은 발아율을 나타내었으나 그 외의 다른 프라이밍 약제에서는 프라이밍 처리를 하지 않은 대조구 종자에 비해 낮은 발아율을 나타내어 전반적으로 프라이밍 처리가 오히려 발아율을 낮추는 경향을 나타내었다.

물푸레나무에서 프라이밍 처리온도를 15°C와 20°C로 나누고 -1.0 MPa의 PEG 6000를 4일간 처리하고 발아율을 비교하여 본 결과, -1.0 MPa의 PEG 6000를 15°C에서 처리한 경우

Table 1. Germination percentage (GP) and germination rate (GR) from *Fraxinus rhynchophylla* Hence seeds primed in different concentrations and priming agents for four days at 15 °C or 20 °C.

Seed treatments***		<i>Fraxinus rhynchophylla</i>			
		15 °C		20 °C	
Priming agents	Concentrations (mM, -Mpa)	Germination percentages (%)	Germination rates (%)	Germination percentages (%)	Germination rates (%)
Control		38.6±4.5 ^b	34.46±3.4 ^c	39.7±3.2 ^b	36.2±4.1 ^{***c*}
Ca(NO ₃) ₂	100	26.4±5.2 ^c	27.5±5.2 ^d	24.6±4.1 ^c	29.6±4.2 ^c
	150	24.4±3.9 ^c	23.6±3.7 ^d	26.0±3.3 ^c	22.4±5.1 ^d
	250	27.6±6.5 ^{bc}	26.9±4.6 ^d	27.1±4.2 ^c	24.6±5.1 ^{cd}
KNO ₃	100	28.2±5.9 ^{bc}	27.0±3.9 ^d	26.5±3.7 ^c	28.0±6.1 ^c
	150	21.2±8.6 ^c	20.6±5.2 ^d	15.6±2.1 ^d	18.6±3.2 ^d
	250	15.2±2.1 ^d	17.6±6.3 ^e	12.6±5.2 ^d	13.7±2.8 ^d
MgSO ₄	100	34.6±5.8 ^b	35.2±2.9 ^c	33.6±4.2 ^b	35.6±3.4 ^c
	150	35.0±6.2 ^b	33.0±3.1 ^c	33.2±3.1 ^b	31.5±3.5 ^c
	250	38.2±8.6 ^b	35.6±4.9 ^c	35.6±3.7 ^b	32.1±5.0 ^c
NaNO ₃	100	36.6±3.9 ^b	34.2±4.2 ^c	34.0±4.2 ^b	31.1±3.2 ^c
	150	34.1±2.3 ^b	33.5±3.3 ^c	33.5±3.4 ^b	30.6±2.9 ^c
	250	33.1±3.1 ^b	33.1±4.1 ^c	33.6±3.7 ^b	29.7±2.9 ^c
KCl	100	37.6±4.9 ^b	32.0±5.1 ^c	38.6±4.7 ^b	28.1±3.0 ^c
	150	34.2±5.2 ^b	31.8±3.8 ^c	34.6±4.9 ^b	29.8±2.2 ^c
	250	36.7±3.1 ^b	32.6±2.9 ^c	36.0±5.2 ^b	31.5±3.6 ^c
K ₃ PO ₄	100	31.0±1.2 ^b	29.8±4.2 ^c	30.9±4.2 ^{bc}	23.1±4.2 ^d
	150	38.6±6.3 ^b	35.3±3.3 ^c	35.4±3.4 ^b	31.7±3.5 ^c
	250	34.1±6.8 ^b	33.9±4.5 ^c	33.8±3.7 ^b	33.2±2.9 ^c
NH ₄ NO ₃	100	34.2±5.6 ^b	33.1±3.2 ^c	33.0±3.0 ^b	31.7±5.1 ^c
	150	35.1±5.4 ^b	34.0±3.1 ^c	34.6±2.1 ^b	33.6±4.4 ^c
	250	34.6±3.7 ^b	33.2±3.8 ^c	35.2±1.2 ^b	33.0±2.1 ^c
PEG-6000	-0.75	45.1±3.7 ^{ab}	44.8±2.5 ^{bc}	43.6±5.2 ^b	43.6±2.1 ^{bc}
	-1.0	64.0±5.1 ^a	63.2±2.1 ^a	56.5±3.1 ^a	54.0±3.6 ^a
	-1.5	42.6±3.4 ^b	51.0±4.3 ^b	42.0±3.4 ^b	51.5±2.8 ^a
	-1.75	32.8±2.1 ^b	41.0±3.2 ^{bc}	31.6±4.4 ^{bc}	28.6±2.2 ^c

*Value marked by different letters in each row are significantly different (p<0.05).

**Data are Mean±SD of the three replication of 50 seeds.

***Seed were dark-primed at 15 and 20°C for 4 days and dark-germinated at 20°C for up to 10 days.

Table 2. Germination percentage (GP) and germination rate (GR) from *Alnus sibirica* Fisch seeds primed in different concentrations and priming agents for four days at 15 °C or 20 °C.

Seed treatments***		<i>Alnus sibirica</i>			
		15 °C		20 °C	
Priming agents	Concentrations (mM, -Mpa)	Germination percentage (%)	Germination rate (%)	Germination percentage (%)	Germination rate (%)
Control		22.6±3.3 ^c	19.6±1.7 ^c	23.6±2.8 ^c	20.6±3.1 ^{**c*}
Ca(NO ₃) ₂	100	15.6±2.9 ^d	14.5±1.0 ^d	13.6±1.7 ^d	13.2±1.9 ^d
	150	14.2±2.2 ^d	13.2±3.1 ^d	14.6±4.1 ^d	11.2±1.8 ^d
	250	12.3±4.5 ^d	11.9±4.2 ^{de}	11.3±2.4 ^d	10.6±2.7 ^d
KNO ₃	100	23.5±4.1 ^c	22.6±3.2 ^c	22.0±3.2 ^c	23.6±4.1 ^c
	150	22.6±2.9 ^c	21.6±3.8 ^c	20.9±1.9 ^c	19.6±2.8 ^c
	250	18.6±3.3 ^{cd}	15.6±3.7 ^d	15.6±2.3 ^d	14.2±4.1 ^d
MgSO ₄	100	22.5±2.9 ^c	20.1±5.1 ^c	20.6±2.9 ^c	19.6±1.9 ^c
	150	22.4±3.8 ^c	20.6±3.0 ^c	21.4±4.1 ^c	19.5±1.6 ^c
	250	22.6±2.7 ^c	20.3±4.3 ^c	20.3±2.8 ^c	19.3±1.1 ^c
NaNO ₃	100	15.6±1.6 ^d	15.3±3.5 ^d	15.2±3.7 ^d	12.3±2.8 ^d
	150	12.6±3.4 ^d	12.3±2.6 ^{de}	10.3±4.1 ^e	9.6±2.1 ^e
	250	11.6±2.8 ^d	9.5±2.7 ^{de}	10.0±3.6 ^e	9.5±2.4 ^e
KCl	100	36.3±2.1 ^b	35.2±3.1 ^b	34.6±3.2 ^b	33.6±2.1 ^b
	150	48.2±2.9 ^a	46.3±3.2 ^a	46.6±3.5 ^a	43.9±1.5 ^a
	250	40.1±3.4 ^{ab}	39.6±4.2 ^{ab}	41.6±2.8 ^{ab}	39.8±3.2 ^{ab}
K ₃ PO ₄	100	21.6±3.8 ^c	20.5±3.3 ^c	22.3±2.7 ^c	20.5±2.8 ^c
	150	23.6±2.6 ^c	23.6±2.0 ^c	22.1±2.9 ^c	20.1±1.9 ^c
	250	22.4±2.4 ^c	20.1±3.6 ^c	20.9±3.1 ^c	19.6±2.8 ^c
NH ₄ NO ₃	100	22.6±2.6 ^c	22.2±5.1 ^c	20.7±4.1 ^c	18.6±1.7 ^c
	150	19.6±5.2 ^{cd}	18.5±2.4 ^c	18.2±2.5 ^c	17.5±3.1 ^{cd}
	250	18.6±3.4 ^{cd}	18.6±1.7 ^c	17.6±2.9 ^{cd}	16.2±2.8 ^{cd}
PEG-6000	-0.75 Mpa	30.6±4.1 ^{bc}	30.0±2.7 ^{bc}	30.1±3.0 ^b	24.6±4.5 ^c
	-1.0 MPa	28.1±5.7 ^{bc}	29.6±1.8 ^{bc}	30.2±2.8 ^b	28.5±3.1 ^c
	-1.5 MPa	25.6±2.2 ^c	29.4±3.3 ^{bc}	30.5±2.5 ^b	26.4±3.3 ^c
	-1.75 MPa	20.4±3.0 ^c	20.0±2.0 ^c	30.5±3.5 ^b	27.5±2.8 ^c

*Value marked by different letters in each row are significantly different (p<0.05).

**Data are Mean±SD of the three replication of 50 seeds.

***Seed were dark-primed at 15 and 20 °C for 4 days and dark-germinated at 20 °C for up to 10days.

64.0%의 발아율을 나타낸 반면 20°C에서 처리한 경우 56.5%의 발아율을 나타내어 15°C에서 -1.0 MPa의 PEG 6000를 처리한 경우가 더 양호한 발아율을 나타내었다. 발아세 역시 -1.0 MPa의 PEG 6000를 15°C와 20°C의 온도로 나누어 프라이밍 처리를 한 경우 프라이밍 처리를 하지 않은 대조구보다 발아세가 모두 증가하였는데 프라이밍 처리를 하지 않은 대조구 종자의 발아세가 15°C에서 34.4%, 20°C에서 36.2%를 나타낸 반면 -1.0 MPa의 PEG 6000를 15°C에서 프라이밍 처리한 경우 발아세가 63.2%로 1.8배 증가하였고 동일 농도의 PEG 6000을 20°C에서 프라이밍 처리한 경우 1.4배 증가하는 경향을 나타내어 발아세의 향상을 나타내었고 이는 물푸레나무에서 PEG 6000으로 프라이밍 처리함에 따라 발아 환경 적응력이 증가하였을 뿐 아니라 발아의 균일도에도 양호한 효과를 나타내는 것으로 생각된다. 물푸레

나무의 경우 최적의 프라이밍 처리 조건은 PEG 6000을 처리 온도 15°C에서 -1.0 MPa 수준으로 처리하는 것이 가장 양호한 발아율과 발아세를 나타내었다 (Fig. 1).

이처럼 특정 삼투평형을 가지게 하는 PEG 6000 처리는 종자의 삼투압을 조절시켜 토마토 등 다양한 식물체에서 대표적인 osmopriming 처리제인 KNO₃나 프라이밍 처리를 하지 않은 대조구보다 발아율을 향상시키는데 효과적으로 사용할 수 있는데 (Ismaiel *et al.*, 2005), 이러한 이유는 PEG가 종자 배의 발아에 영향을 미치지 않을 정도로 불활성화 되어 있는 상태로 존재하여 독성을 나타내지 않고 비교적 분자의 크기가 커 (McDonald, 2000) 종자의 배로 직접 흡수되지 않으면서 침종하는 동안 종자의 수분 흡수를 억제하여 침종 중 수분 흡수에 의한 발아를 방지할 수 있기 때문으로 생각된다. 또한 PEG의 경우 수분흡수와 함께 단백질 합성과도 밀접한 연관을

맺고 있는데 Davison과 Bray(1991)는 PEG6000 -1.0 MPa에서 14일간 프라이밍 처리한 다음 배를 배양하였을 때 무처리 종자에서 발견되지 않던 5개의 복합 peptide결합을 발견하여 단백질이 합성됨을 밝혔다. Fujikura 등(1993)은 꽃양배추 종자를 PEG -1.5 MPa에 1주일간 처리하였던 결과 유근의 선단에서 단백질 합성이 왕성하며 단백질 합성능력을 나타낸다고 보고하였다.

물오리나무의 경우 프라이밍 처리를 하지 않은 대조구 종자보다 프라이밍 약제와 농도 중 KCl의 모든 농도 (100, 150, 200 mM)와 PEG 6000의 -0.75, -1.0, -1.5 MPa로 프라이밍 처리를 하는 경우 발아율과 발아세가 향상되는 결과를 나타내었다. 15°C의 온도에서 프라이밍 처리를 하지 않은 대조구 종자의 발아율이 22.6%의 발아율을 나타낸 반면 동일 온도에서 KCl를 150 mM 수준으로 프라이밍 처리하는 경우 약 48.2%의 발아율을 나타내어 우수하였고, 발아세도 15°C의 온도에서 프라이밍 처리를 하지 않은 대조구 종자의 발아세가 19.6%를 나타낸 반면 동일 온도에서 KCl를 150 mM 수준으로 프라이밍 처리하는 경우 46.3%로 발아세가 증가하였고 20°C에서도 유사한 경향을 나타내었다 (Table 2, Fig. 1). 이러한 결과는 비 종자를 대상으로 하여 KCl과 CaCl₂를 처리하여 프라이밍 경우 발아지수를 향상시켰다는 보고 (Ruan *et al.*, 2002)와 유사하였으며 종자를 KCl를 이용하여 프라이밍 하는 경우 다른 프라이밍 제제보다 더 효과적일 수 있는데 이러한 이유는 삼투조절의 장점을 가진 potassium 이온 (K⁺)이 세포의 수분 포화도를 증가시키고 종자 내 포함된 많은 효소를 활성화시킬 수 있는 cofactor로 작용하기 때문이라고 보고 (Taiz and Zeiger, 2002)하였다. 이러한 결과와 비교하여 볼 때 물푸레나무 및 물오리나무 종자의 경우 발아에 있어 삼투조절이 중요하며 발아에 관계되는 많은 효소적 활성이 요구되어진다고 판단된다.

특정 식물의 경우 특정 프라이밍 약제 종류와 농도에 대해서만 종자의 발아율이 향상되어지는 것은 종자의 배를 둘러싸고 있는 조직층이 프라이밍 약제의 종류 및 농도를 선별적으로 투과시키는 것과 연관이 있으며 (McDonald, 2000), 이러한 조직층은 종자의 내부로 수분을 흡수시키는 반면 배 (embryo)에서 종자 내부로 용질이 확산되어지는 것을 막는 기능을 수행하기 때문이라고 사료 된다 (Nerson and Govers, 1986).

물푸레나무 및 물오리나무에서 프라이밍 시 발아율이 특정 약제를 제외한 다른 약제에서 무처리에 비해 발아율이 향상되지 못하였거나 오히려 감소하는 경향을 나타내었는데 이러한 이유는 명확하지 않으나 프라이밍 약제의 이온이 종자내로 침투함으로써 유독작용을 미치거나 (Brocklehurst and Dearman, 1984), 프라이밍 용액의 이온농도가 증가할수록 배의 이온 축적량이 증가되어 대사 작용을 방해 (Haigh and Barlow, 1987)하는 것으로 생각되어진다.

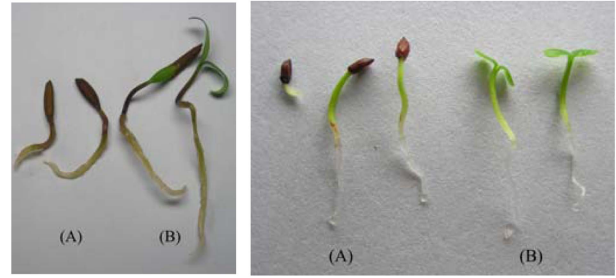


Fig. 1. Effect of seed priming on seed germination in *Fraxinus rhynchophylla* Hence and *Alnus sibirica* Fisch. Left panel; *Fraxinus rhynchophylla* Hence, (A) Control (not seed priming), (B) Seed priming by PEG-6000 at concentration of -1.0 Mpa, Right panel; *Alnus sibirica* Fisch, (A) Control (not seed priming), (B) Seed priming by KCl at concentration of 100 mM.

2. 물푸레나무와 물오리나무의 종자펠릿 제조에 있어 피복물질 및 접착제 선별

종자펠릿 제조에 있어 피복물질에 의한 종자의 발아, 출현, 입모에 지장을 받지 말아야 되기 때문에 작물의 종류별로 피복재료를 탐구하여 종자펠릿의 특성이 잘 나타나도록 개량하는 것이 중요하다. 물푸레나무와 물오리나무를 대상으로 하여 피복재료 별로 구성된 종자펠릿의 특성을 살펴본 결과 (Table 3) 단용으로 사용된 zirconium silicate와 pagodite는 펠릿 형성은 양호하였지만 표면이 매우 거칠었고 경도가 각각 0.24 kg, 0.75 kg으로 너무 약해 쉽게 부서져 단용 피복재료로 적합하지 않았다. 또한 피복재료 별 추출물의 EC와 pH에서 zirconium silicate와 pagodite의 펠릿 침출물의 EC는 낮았으나 pH가 7.0내외로 높았고 수분을 흡수한 후에 종자펠릿의 열개성은 비교적 좋은 편이었다. 벤토나이트, 규조토, 석고 등은 펠릿 형성은 잘 되고 표면도 매끄러웠으나 벤토나이트, 제올라이트 및 규조토의 경우 수분 흡수 후에 펠릿의 열개가 더디거나 이루어지지 않았고, 벤토나이트의 경우는 경도가 5.20 kg으로 매우 단단하여 종자가 발아하는데 물리적 장애를 나타낼 것으로 생각되었으며 규조토의 경우 경도가 약해 (0.28 kg) 적당치 않았다. 제올라이트의 경우 경도도 약한 편이었고 pH가 8.6, EC가 5.1로 너무 높았고, 석고는 펠릿형성과 표면이 양호하고 수분 흡수 후의 열개성이 매우 우수하였으나 경도가 너무 단단하였다 (4.19 kg). 2종 혼합물인 석고 + 규조토, 석고 + 버미큘라이트, 석고 + 달마세라믹은 단용재료에 비해 펠릿형성과 수분 흡수 후에 열개성이 양호하였으나 석고+규조토 혼합재료를 제외하고 경도가 단단한 편이었다. 결과적으로 피복재료 중 단용재료로 제조된 종자펠릿들은 대체로 펠릿의 표면이 매끄럽지 못하고 열개성이 떨어지며 경도가 너무 약하거나 반대로 너무 단단하고 펠릿 침출물의 pH 및 EC가 불안정해 피복재료로는 부적당하였다. 단용재료에 비해 2종 이상의 혼합 피복재료는 펠릿 형성 및 열개성, 경도, 피복재료 추출물

Table 3. Physical and chemical characteristics of pelleted seeds prepared with various coating materials in *Fraxinus rhynchophylla* Hance and *Alnus sibirica* Fisch.

	Coating materials	Mix ratio***	Pellet shape	Breaking pellets after absorption**	Hardness (kg)	Extracted solution*	
						pH	EC
Mono	Zirconium silicate (ZS)		-	+	0.24±0.08	7.0	0.2
	Pagodite (P)		-	+	0.75±0.12	7.2	0.1
	Bentonite (B)		+	-	5.20±0.51	7.8	2.8
	Diatomaceous earth (DS)		+	-	0.28±0.07	6.6	0.2
	Zeolite (Z)		+	-	0.27±0.05	8.6	5.1
	Gypsum (G)		++	++	4.19±0.05	6.6	2.5
Mix	G+DS	1:1	+	++	0.47±0.06	6.0	2.4
	G+Vermiculite (VM)	1:1	+	++	4.42±0.03	6.7	2.5
	G+Dalma ceramic (DC)	1:1	+	++	3.75±0.06	6.1	2.4
	G+DS+DC	1:1:1	+	++	3.03±0.08	6.6	2.5
	G+DS+DC+VM (AM)	6:1:1:1	++	++	1.58±0.02	6.5	2.5
	(AM)+starch grafted cross-linked polyacrylates (SGPA)	SGPA, 1.5%	-	-	-	-	-
Multi-layer	(AM)+****SGPA	SGPA, 1.5%	++	++	1.48±0.06	6.1	2.4

*Extract was obtained by filtering a mixture of the coating material and water (1:5),
 **Breaking pellets after absorption : (-) Not broken, + Cracked, ++ Well broken,
 ***Pellet shape: (-) Rough surface, (+) Smooth surface, (++) Very smooth surface,
 ****Multi-layer seed pellet: Second pelleting by SGPA coating after pelleting using optimal coating material G+DS+DC+VM (AM).

Table 4. Shape formation and hardness of pelleted seeds depending on binders in *Fraxinus rhynchophylla* Hance and *Alnus sibirica* Fisch.

Binders	Arabic gum (8%)		PVA (3%)**		CMC (1%)*	
	Pellet Shape****	Hardness (kg)	Pellet Shape	Hardness (kg)	Pellet Shape	Hardness*** (kg)
Selected Coating Materials (AM)+****SGPA	++	1.36±0.04	+	0.98±0.07	+	1.21±0.08

*CMC, carboxy methyl cellulose;
 **PVA, polyvinyl alcohol;
 ***Hardness indicates a breaking point at 1 kg pressure;
 ****(-) Cracked surface, (+) Rough surface, (++) Smooth surface;
 *****Multi-layer seed pellet: Second pelleting by SGPA coating after pelleting using optimal coating material G+DS+DC+VM (AM).

의 pH, EC 등이 안정적이어서 종자펠렛 제조의 피복재료로서는 단용재료보다 혼합재료가 더 양호하였다. 이러한 결과는 양파를 대상으로 하여 종자펠렛 제조 시 피복재료의 단용보다 2종 혼합의 경우 양호한 물리화학적 특성을 나타내었다는 결과 (Lee and Park, 2000)의 보고와 유사하였다. 또한 석고+규조토+달마세라믹+버미큘라이트 (6:1:1:1)의 여러 가지 재료를 혼합하여 사용하는 경우 pellet의 형성 및 표면이 매우 양호하였고 경도는 1.58 kg으로 너무 약하거나 단단하지도 않았으며 펠렛의 열개성도 매우 우수하여 여러 재료 중 가장 양호하였다.

최적화된 혼합 피복재료와 함께 starch-grafted cross-linked polyacrylates (SGPA)를 1.5%의 수준으로 첨가하여 pellet을 제조한 경우 hydrogel을 물에 희석한 용매 형태로 적용하여 종자 pellet을 구성할 수 없었기 때문에 최적화된 혼합 피복재료의 피복 후에 polymer를 다시 코팅하는 다중층 종자펠렛을

구성하였다 (Fig. 2). 최적화된 혼합 피복재료로 1차 피복하여 종자펠렛을 제조하고 다시 SGPA를 이차적으로 코팅하는 경우 최적화된 혼합 피복재료 만을 첨가한 경우와 유사한 펠렛 모양 및 경도, 열개성, 안정된 pH 및 EC의 값을 나타내었다.

Pellet 종자에 사용하는 접착제도 종류에 따라 종자펠렛의 경도와 종자 발아에 많은 영향을 미치는데 (Taylor and Harman, 1990) 바람직한 접착제는 수용성으로서 물에 쉽게 용해가 되어야 하고 종자에 아무런 영향을 주지 않으면서 접착 능력이 좋아야 한다.

물푸레나무와 물오리나무를 대상으로 하여 종자펠렛을 제조하는 경우 접착제의 종류에 따른 펠렛 형성 상태와 경도를 살펴본 결과 평균 경도는 아라비아 고무 8% 수용액이 1.36 kg, PVA 3% 수용액이 1.27 kg, CMC 1%가 1.26 kg으로 아라비아 고무 수용액의 접착 강도가 가장 높았으며 특히 펠렛 형성이 우수하였다 (Table 4).

프라이밍 및 종자펠릿에 의한 물푸레나무와 물오리나무의 생육증대 효과



Fig. 2. Seed pellet processing in *Fraxinus rhynchophylla* and *Alnus sibirica*.

3. SGPA hydrogel을 이용한 다중층 종자펠릿의 제조와 수분 흡수량 검증

Starch-grafted cross-linked polyacrylates (SGPA)는 니트릴기 친수화 치환반응, 환화반응, corn starch와의 가교반응을 통해 유도한 고 흡습성 hydrogel로서 흡습성이 우수하고 pH에 민감하지 않아 종자펠릿에 수분을 공급하지 않거나 과도한 수분이 있어도 일정 수준의 수분을 유지하여 주는 기능을 가지게 하였다. 종자펠릿 제조 시 사용된 고 흡습성 hydrogel인 SGPA의 수분흡수량을 측정한 결과 약 86 g·H₂O/g·SGPA를 나타내어 1g의 hydrogel이 약 80배 이상의 수분을 흡수할 수 있다는 것을 확인하였다. 식물생장에 있어서 적절한 수분공급은 전 생육기간을 통하여 필수적으로 요구되는 것이지만 특히 종자가 발아할 때나 어린 식물이 성장하는 동안에는 매우 중요하다. 육묘기간 중 1일 4-5회의 수분을 공급하여도 대부분 공급과 즉시 빠져나가고 상토 내에 남아있는 수분은 쉽게 증발하여 아주 짧은 시간동안만 적정 수분을 유지할 수 있다. 그리하여 다량의 수분을 공급함으로써 수분과다나 배수와 증발로 인한 수분 결핍이 반복됨으로 육묘과정에서 입모율 및 작물의 생육에 악영향을 미치게 된다. SGPA hydrogel로 펠릿화 된 종자펠릿의 경우 첨가된 hydrogel은 그들이 가지는 공

극을 물로 채워서 험기적 상태로 만들지 않으면서도 높은 보습력을 유지하고 증발로 쉽게 수분을 잃지 않으므로써 소량의 물을 공급하고도 종자 발아권 내에 적정수분을 오랫동안 유지할 수 있을 것으로 생각된다. 물푸레나무 속의 쇠물푸레를 대상으로 한 생재함수율을 측정한 결과 약 37-48%를 나타내었다는 보고 (Hwang *et al.*, 2002)와 물푸레나무의 실생묘 생육에 있어 최대보수상태와 위조점에서의 osmotic potential이 다른 참나무류 보다 높았다는 결과 (Kwon and Lee, 1994)를 고려하는 경우 종자의 발아에서부터 실생묘로 생육할 때까지 종자펠릿에 포함되어진 hydrogel이 충분한 수분을 유지시켜줄 수 있을 것으로 생각된다. 또한 물푸레나무 원종자와 SGPA hydrogel이 펠릿화 된 종자펠릿을 대상으로 파종 직후 1회 관수 한 후 80일 간 관수하지 않는 처리구에서 30일 이후의 생육상을 비교한 결과에서도 80일간 관수를 하지 않은 원종자 처리구에서는 묘목의 자엽 부분에서 일부 잎이 말리는 위조현상이 나타난 반면 SGPA hydrogel이 펠릿화 된 종자펠릿의 경우에는 이러한 위조현상이 관찰되지 않았을 뿐 아니라 생육이 촉진되는 것을 확인할 수 있었다 (Fig. 3). 이러한 결과는 물푸레나무의 묘고 성장 시 토양수분이 감소할수록 생장이 감소하였고 잎, 줄기 뿌리 등 건중량 및 물질 생산도 토양 수

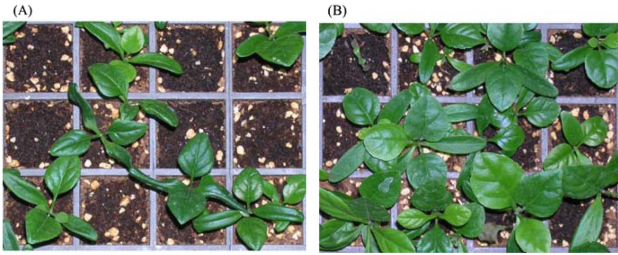


Fig. 3. Effect of multi-layer seed pellet using starch grafted cross-linked polyacrylates (SGPA) hydrogel on seed germination and growth in *Fraxinus rhynchophylla* Hance. All planlet not irrigated for 80 days after seed sowing, (A) Control (bare seed), (B) Multi-layer seed pellet using starch grafted cross-linked polyacrylates (SGPA) hydrogel.

분이 낮아질수록 통계적으로 유의한 수준으로 감소하였다는 결과 (Chung *et al.*, 2007)를 고려하는 경우 물푸레나무와 같은 목본성 생약을 실생번식으로 번식하고자 하는 경우 SGPA hydrogel이 펠렛화 된 종자펠렛을 이용하게 되면 발아 및 생육에 있어 안정된 수분관리를 유지할 수 있고 일정한 수준 이상의 균일한 수목을 생산할 수 있을 뿐 만 아니라 작물의 질도 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

4. 종자펠렛의 발아특성 및 생육특성

피복재료별 물오리나무의 종자펠렛 발아특성을 보면

zirconium silicate, pagodite, 벤토나이트, 규조토, 제올라이트, 석고 등의 단용재료로 제조된 종자펠렛들의 발아율 및 발아세는 물푸레나무에서 30%에서 10%까지 원종자의 발아율보다 낮았으며, 특히 벤토나이트에서는 발아율이 4.7%, 발아세가 2.0%로 극히 낮았다. 석고+규조토 등 2종 혼합재료들의 발아율은 31-38%로 단용재료의 사용보다 높았으나 석고 + 규조토 + 달마세라믹 + 베타클라이트의 혼합재료에서는 발아율 및 발아세가 원종자와 유사하게 각각 38.6%, 29.7%로 높았으며 발아속도도 일반종자와 같은 12일이었다. 또한 최적화 피복재료에 수분유지를 위해 starch grafted cross-linked polyacrylates (SGPA)를 이중으로 코팅한 다중층 종자펠렛에서도 원종자와 유사한 발아율과 발아속도를 나타내었다. 반면 프라이밍 처리를 수행하고 석고 + 규조토 + 달마세라믹 + 베타클라이트의 혼합재료로 펠렛화한 후 SGPA를 이용하여 제조된 다중층 종자펠렛은 발아율이 원종자에 비하여 2배 이상의 발아율과 발아세를 나타내었고 발아속도도 원종자와 유사하였다 (Table 5).

물오리나무의 경우에는 단용재료로 제조된 종자펠렛의 발아율과 발아세가 원종자에 비하여 1/2 수준으로 감소하였으며 2종 혼합재료들의 발아율은 단용재료보다 높은 발아율을 나타내었으나 석고+규조토+달마세라믹+베타클라이트의 혼합재료의 수준에 미치지 못하였다. 프라이밍 처리를 수행하고 피복재료로 펠렛화한 후 SGPA를 이용하여 제조한 다중층 종자펠

Table 5. Effect of optimal priming and seed pelleting on germination percentage (GP), germination rate (GR) and number of days to attain 50% of the final germination percentage (T_{50}) in *Fraxinus rhynchophylla* Hance and *Alnus sibirica* Fisch.

Coating material	Mix ratio	<i>Fraxinus rhynchophylla</i> Hance			<i>Alnus sibirica</i> Fisch		
		GP (%)	GR	T_{50} (day)	GP (%)	GR	T_{50} (day)
G+DS+DC+VM (AM)	G+DS+DC+VM=6:1:1:1	38.6±1.6 ^b	29.7±2.7 ^b	13	26.4±2.8 ^b	20.2±1.6 ^{b*}	14
(AM)+SGPA	Not treated priming agent	37.6±2.3 ^b	31.6±3.1 ^b	12	21.8±1.2 ^b	19.8±2.3 ^b	14
	Priming agent treatment	75.6±2.1 ^a	68.9±3.7 ^a	12	56.3±2.4 ^a	48.6±3.1 ^b	14
Control	Bare Seed	38.6±5.9 ^b	34.4±7.2 ^b	12	22.6±6.5 ^b	20.6±6.4 ^b	14

*Value marked by different letters in each row are significantly different ($p < 0.05$). Data are Mean±SD, n=3.

Table 6. General growth characteristics of the aerial part between bare seed and seed pellet by 30 days and 60 days after sowing dates in *Fraxinus rhynchophylla* Hance.

Days of Growth	30 days			60 days		
	Plant height (cm)	Number of leaves	leaf area (cm ²)	Plant height (cm)	Number of leaves	leaf area (cm ²)
Priming treatment+(AM)+SGPA	24.8±0.5 ^{**}	8.5±2.3 [*]	35.6±2.6 ^{**}	29.8±0.9 ^{**}	10.5±0.9 ^{**}	35.2±2.6 ^{**}
Control (Bare Seed)	16.3±2.6	6.4±3.6	12.7±5.6	18.5±2.3	6.8±0.5	15.2±3.8

* and **; significant at the 5 and 1% levels of probability, respectively.

Table 7. General growth characteristics of the aerial part between bare seed and seed pellet by 30 days and 60 days after sowing dates in *Alnus sibirica* Fisch.

Characteristics	30 days			60 days		
	Plant height (cm)	Number of leaves	leaf area (cm ²)	Plant height (cm)	Number of leaves	leaf area (cm ²)
Priming treatment+(AM)+SGPA	13.6±1.2 ^{ns}	3.6±0.7*	15.3±0.7**	20.1±1.9*	4.0±1.1*	17.2±1.7**
Control (Bare Seed)	12.6±0.8	2.4±1.2	8.9±1.4	18.2±1.9	2.9±0.7	10.2±1.8

^{ns}, * and **; not significant, significant at the 5 and 1% levels of probability, respectively.

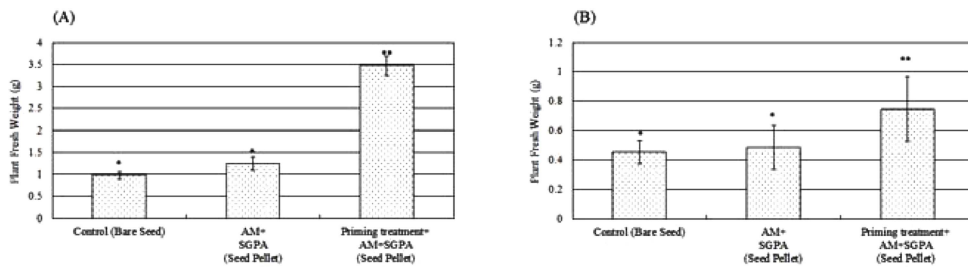


Fig. 4. Comparison of fresh weight of seedling from bare seed and seed pellet by 80 days after sowing in (A) *Fraxinus rhynchophylla* Hance and (B) *Alnus sibirica* Fisch. Mean of with same symbols are not significantly different at P<0.05 level.

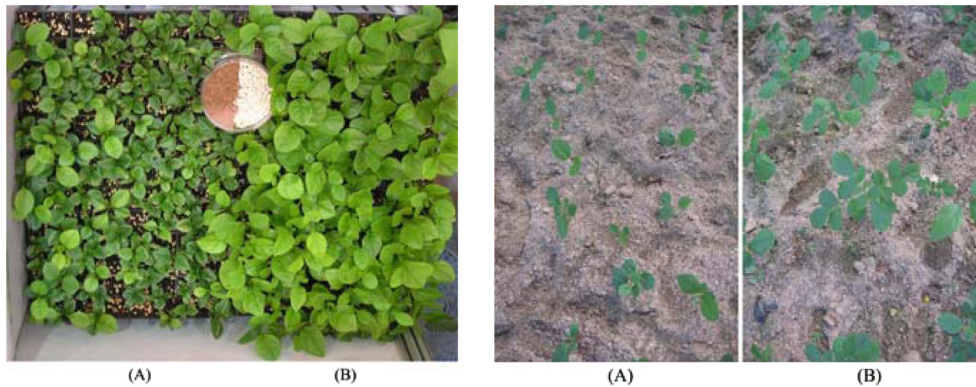


Fig. 5. Comparison of germination (left pannel) and seedling growth after sowing for 60 days (right pannel) on (A) bare seed and (B) seed pellet in *Fraxinus rhynchophylla* Hance.

렛은 발아율이 원종자에 비하여 2배 이상의 발아율과 발아세를 나타내었다 [Table 5, Fig. 5(A)].

또한 상기 개발된 물푸레나무와 물오리나무의 종자펠릿을 파종하고 각 수목종의 생육상을 살펴본 결과 30일 경과 후에 물푸레나무에서는 프라이밍 처리 이후 SGPA를 이용하여 제조한 다중층 종자펠릿의 파종 시에는 원종자를 파종한 것보다 신장이 약 10 cm 길게 성장하였으며 잎 수는 2개 이상이 더 많았고 엽면적도 약 13 cm² 이상 넓은 것으로 나타나 프라이밍 처리 이후 SGPA를 이용하여 제조한 다중층 종자펠릿을 파종하여 파종하는 것이 양호한 생육상을 나타내었다. 또한 프라이밍 처리 이후 SGPA를 이용하여 제조한 다중층 종자펠릿의 적용 시 개체 간에 신장 및 잎 수, 엽면적의 차가 매우 적어 생육하는 개체수가 균일하게 성장하고 있음을 알 수 있었다 (Table 6). 물오리나무에서는 프라이밍 처리 이후 이용하여 제

조한 다중층 종자펠릿을 파종한 것이 원종자 보다 신장이 약간 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 수준은 아니었다. 입수에 있어서는 평균 1개 이상이 종자펠릿에서 많았고 엽면적이 약 7 cm² 넓게 생육하는 것을 관찰할 수 있었다. 60일 의 경우 이러한 차이는 점차 감소하였으나 통계적으로 유의적인 차이를 나타내었다 (Table 7). 발아한 지 80일 경과 후에 원종자와 프라이밍 처리 이후 SGPA를 이용하여 제조한 다중층 종자펠릿에서 생육한 유식물체의 각 개체별 생체중을 조사한 결과 물푸레나무의 경우 원종자에서 생육한 유식물체의 생체중이 약 0.98 g, 프라이밍 처리를 하지 않고 SGPA를 이용하여 제조한 다중층 종자펠릿은 1.24 g의 생체중을 나타낸 반면 프라이밍 처리 이후 SGPA를 이용하여 제조한 다중층 종자펠릿은 3.5 g의 생체중을 나타내어 2.8배 높은 생체중을 나타내었다 [Fig. 4 (A), Fig. 5]. 물오리나무의 경우에서는 원종자에

서 생육한 유식물체의 생체중이 약 0.45 g, 프라이밍 처리를 하지 않은 SGPA를 이용하여 제조한 다중층 종자펠렛은 0.48 g의 생체중을 나타낸 반면 프라이밍 처리 이후 SGPA를 이용하여 제조한 다중층 종자펠렛은 0.74 g의 생체중을 나타내어 1.6배 높은 생체중을 나타내었다 [Fig. 4 (B)].

이러한 결과로 미루어 보아 프라이밍 처리 이후 SGPA를 이용하여 제조한 다중층 종자펠렛화 기술은 물푸레나무와 물오리나무의 초기 발아율 향상과 입모율 개선에 효과적으로 사용되어질 수 있을 뿐 아니라 초기 생육에도 효율적으로 적용할 수 있는 방법으로 제시할 수 있을 것으로 생각되고 목본성 생약의 실생번식에 있어 프라이밍 처리기술과 hydrogel을 포함하는 종자펠렛을 통하여 크기가 작은 종자를 피복함으로써 크기를 크게 하여 일정하고 정확한 간격으로 파종하여 묘 수확을 작업할 수 있고 묘 수확작업이 생략됨에 따라 뿌리의 손상을 줄일 수 있고, 종자를 절약할 수 있을 뿐 아니라 수분유지관리를 원활히 함으로써 생력화 재배를 가능하게 할 수 있을 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 Eco-STAR project(수생태복원사업단)의 지원으로 수행된 연구결과로 이에 감사드립니다.

LITERATURE CITED

- Afzal I, Basra SMA, Shahid M, Farooq M and Saleem M.** (2008). Priming enhances germination of spring maize(*Zea mays* L.) under cool conditions. *Seed Science and Technology*. 36:497-503.
- Agrawal PK, Dadlaniand M and Kumari GV.** (1988). Viability of onion seeds: Storage with low and high seed moisture. *Plant Physiology and Biochemistry*. 15:97-106.
- Atherton JG and Farooque AM.** (1983). High temperature and germination in spinach. II. Effects of osmotic priming. *Scientia Horticulturae*. 19:221-227.
- Bittencourt MLC, Dias DCFS, Dias LAS and Araújo EF.** (2004). Effects of priming on asparagus seed germination and vigour under water and temperature stress. *Seed Science and Technology*. 32:607-616.
- Brocklehurst PA and Dearman J.** (1984). A comparison of different chemicals for osmotic treatment of vegetable seed. *Annual Applied Biology*. 105:391-398.
- Bulan P.** (1991). Some effect of seed coating and aging treatments on soybean germination and emergence. Ph. D. Thesis. Mississippi State University. Starkville, USA. p.93.
- Burris JS, Wahab AH and Edje OT.** (1977). Effect of seed size on seedling performance in soybeans. *Crop Science*. 11:492-496.
- Cho SK, Seo HY, Choi IH, Jang YS, Hyun DY, Lee ET and Choi KG.** (2001). Optimal sowing time for pelleted onion (*Allium cepa* L.) seeds in direct sowing culture. *Journal of Korean Society Horticulture Science*. 42:410-414.
- Choi KG, Lee YS and Cha KH.** (2006). Selection and technical development for seed pelleting material of *Codonopsis lanceolata* Trautv. *Korean Journal of Medicinal Crop Science*. 14:1300-133.
- Chung JC, Choi JH, Park KW, Yoo SK, Lee SW and Bae JH.** (2007). Effect of artificial water treatment on the growth and leaf characteristics of *Fraxinus rhynchophylla* and *Fraxinus mandshurica*. *Journal of Bio-Environment Control*. 16:135-141.
- Coolbear P, Francis A and Grierson D.** (1984). The effect of low temperature pre-sowing treatment on the germination performance and membrane integrity of artificially aged tomato seeds. *Journal of Experimental Botany*. 35:1609-1617.
- Dadiani M, Shenoy VV and Seshu DV.** (1992). Seed coating to improve stand establishment in rice. *Seed Science and Technology*. 20:307-313.
- Dahal P, Bradford KJ and Jones RA.** (1990). Effects of priming and endosperm integrity on seed germination rates of tomato genotypes. 2. Germination at reduced water potential. *Journal of Experimental Botany*. 41:1441-1453.
- Davision PA and Bray CM.** (1991). Protein synthesis during osmopriming of leek(*Allium porrum* L.) seeds. *Seed Science Research*. 1:29-35.
- Fujikura Y, Kraak HL, Basra AS and Karssen CM.** (1993). Hydropriming, a simple and inexpensive priming method. *Seed Science and Technology*. 20:639-641.
- Haigh AM and Barlow EWR.** (1987). Germination and priming of tomato, carrot, onion and sorghum seeds in a range of osmotica. *Journal of American Society Horticulture Science*. 12:202-208.
- Ham YH, Kim JH, Lee SK and Bae YS.** (1997). Coumarin compound in stembark of *Fraxinus rhynchophylla*. B-4. In Proceeding of the Korea Society of Wood Science Technology (autumn). The Korea Society of Wood Science Technology. p.127-130.
- Hur J.** (1994). Dongeuibogam. Yeokangchoolpansa. Seoul, Korea. p.292.
- Hwang BH, Cho JH, Lee TS and Bae YS.** (2009). Diarylheptanoids from bark of *Alnus hirsuta* Turcz. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 37:73-77.
- Hwang WJ, Kwon GJ and Kim NH.** (2002). Physical and mechanical properties of major Korean ash speices. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 30:95-101.
- Ismail AI, El-Araby MM, Hegazi AZA and Moustafa SMA.** (2005). Optimization of priming benefits in tomato(*Lycopersicon esculentum* M) and changes in some osmolytes the hydration phase. *Asian Journal of Plant Sciences*. 4:691-701.
- Jeong YO, Kang JN, Cho JL and Kim JH.** (1994). Effect of priming condition on enhancing germination of tomato seeds. *Journal of Korean Society for Horticultural Science*. 35:574-580.
- Kang JS.** (2002). Selection of binder and solid materials for pelleting welsh onion(*Allium fistulosum* L.) seeds. *Korean Journal of Life Science*. 12:721-730.
- Kang JS.** (2004). Identification of pelleting materials and effect of nutrient addition on the germination of pelleted lettuce seeds.

- Journal of Bio-Environment Control. 13:8-15.
- Kang JS, Cho JL and Lim JM.** (2003). Effect of seed pelleting on the precision planting and seedling emergence of carrot seeds. Korean Journal of Life Science. 13:428-432.
- Kang JS, Son KB, Choi YW, Lee YJ, Park YH and Choi IS.** (2007). Effect of physical, chemical properties and of pelleting solid materials on the germination in pelleted carrot seeds. Journal of Life Science. 17:1702-1708.
- Kim HC, An RB, Jeong GS, Oh GH and Kim YC.** (2005). 1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl radical scavenging compounds of *Fraxini cortex*. Natural Products Science. 11:150-154.
- Kim NY, Pae H, Ko YS, Yoo JC, Choi BM, Jun CD, Chung HT, Inagaki M, Higuchi R and Kim YC.** (1999). *In vitro* inducible nitric oxide synthesis inhibitory active constituents from *Fraxinus rhynchophylla*. Planta Medica. 65:656-658.
- Kim CM, Shin MK, Ahn DG and Lee GS.** (1998). Joongyadaesajun. Jung Dam. Seoul, Korea. p.348.
- Kim DG, Lee BG and Kim HY.** (2003). Use of *Fraxinus rhynchophylla*. Hance bark as antioxidant. Journal of Korean Forest Energy. 22:69-76.
- Kuroyanagi M, Shimomae M, Nagashima Y, Muto N, Okuda T, Kawahara N, Nakane T and Sano T.** (2005). New diarylheptanoids from *Alnus japonica* and their antioxidative activity. Chemical and Pharmaceutical Bulletin(Tokyo). 53:1519-1523.
- Kwon BS, Jang YS and Choi SS.** (2005). Effect of germination on *Alisma plantago* by pellet coating materials. Korean Journal of Crop Science. 50(S):239-241.
- Kwon KW and Lee JH.** (1994). Growth performance and physiological response of *Quercus* spp. and *Fraxinus rhynchophylla* subjected to different soil moisture regimes and nutrition levels. Journal of Korean Forest Society. 83:164-174.
- Lee SC and Park SW.** (2000). Characteristics of pellet seed on germination and emergency in onion(*Allium cepa* L.). Korean Journal of Plant Resources. 13:41-47.
- Liu L, Wang R, Chen L, Wu P and Wang L.** (2003). Study on chemical constituents of bark of *Fraxinus rhynchophylla*. Chinese Traditional and Herbal Drugs. 34:889-890.
- McDonald MB.** (2000). Seed priming. In Black M and Bewly JD (eds.). Seed technology and its biological basis. CRC Press LLC. Boca Raton. Florida, USA. p.287-325.
- Michel BE and Kaufman MR.** (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology. 51:914-916.
- Nerson H and Govers A.** (1986). Salt priming of muskmelon seeds for low temperature germination. Scientia Horticulturae. 28:85-91.
- Park CS, Yoon SC and Kang IG.** (2005). Development of hydrogelated pot mix for the enhancement of plant growth and suppression of soil-borne diseases(Final Report). The Ministry for food, Agriculture, Forestry and Fisheries. Korea. p.138.
- Ruan S, Xue Q and Tylkowska K.** (2002). Effects of seed priming on germination and health of rice(*Oryza sativa* L.) seeds. Seed Science and Technology. 30:451-458.
- Sachs M.** (1977). Priming of watermelon seeds for low-temperature germination. Journal of the American Society for Horticultural Science. 102:175-178.
- Statistical Analysis System(SAS).** (2000). SAS User's guide: Basics(5th ed.). SAS Institute. Cary. North Carolina, USA.
- Suzuki H, Obayashi S, Yamagishi J and Inanag S.** (1990). Effect of pH of tertiary phosphate solutions on radicle protrusion during priming of carrot seeds. Journal of Japanese Society for Horticultural Science. 59:589-595.
- Taiz L and Zeiger E.** (2002). Plant Physiology(3rd ed). Sinaure Associates Publishers. Sunderland. Massachusetts, USA. p.690.
- Taylor AG and Harman GE.** (1990). Concept and technologies of selected seed treatments. Annual Review of Phytopathology. 28:321-339.
- Yang EJ, Lee DG, Lee JW, Kim YS, Lim SH and Song KS.** (2007). The chemical constituents of the stem barks of *Fraxinus rhynchophylla*. Journal of Korean Society for Applied Biological Chemistry. 20:348-351.