은평 한옥마을 목재 코팅을 위한 천연 왁스의 유용성 비교

김규희, 김민겸, 김보경, 김시윤, 신소운, 심린, 유서현, 이태진, 이현진
하나고등학교 지역연계 프로젝트

Abstract

The Eunpyeong Hanok Village, representing the beauty and spirit of our Korean culture, is primarily made of wooden structures. Various coatings used for finishing wood products conceal the inherent characteristics of wood. This drawback becomes a significant factor in the decreasing demand for wooden products among modern consumers who prioritize aesthetic elements. Consequently, the diminished demand for wooden products can lead to a decline in the appreciation for the beauty of Hanok, as these coatings compromise the aesthetic appeal of wood. If the aesthetic essence of Hanok is lost, the motivation for people to reside in Hanok diminishes, potentially resulting in the decline of Hanok culture. To maintain them requires effective wood coatings, but the 'Myeongyu', the traditional oil for such coatings, has limitations due to its low productivity. Therefore, this study aims to select an eco-friendly substitute for alternate Myeongyu by comparing the control group(Woodstain) and the experimental group(Soy wax and Beeswax). The weight of wood was measured at regular intervals after immersing in water, and scatter plots with trendlines were compared to verify the water resistance, the ultimate purpose of coating. The relationship between weight change over time was validated through linear regression analysis. Additionally, the antibiotic properties of the waxes were compared through disk-diffusion-test, using *Staphylococcus aureus*, known to cause allergies and skin inflammation. Concerns about potential aesthetic deterioration of Hanok architecture were addressed through color change experiments, measuring RGB values before and after coating to assess alterations. The results indicate that soy wax and beeswax demonstrated similar water resistance, and soy wax showed greater antibiotic effectiveness. In terms of color change, the conventional Woodstain had the least impact. Weight was assigned to water resistance, antibiotic efficacy, and color change in selecting the optimal eco-friendly coating agent, with soy wax emerging as the most effective choice.

초 록

우리 한민족의 얼과 한이 담긴 장소 중 하나인 은평 한옥마을은 대부분 목조 구조물로 이루어져 있다. 목재 제품 마감을 위해 사용되는 다양한 코팅제들은 목재 고유의 특성을 감춘다는 단점이 있다. 이는 심미적 요소를 중시하는 현대 소비자들의 목재 제품 수요 감소 원인이며, 결과적으로 코팅제로 인한 한옥의 심미성 저하는 한옥의 수요가 줄어드는 결과를 불러올 수 있다. 한옥은 전통적인 아름다움과 목재 건축물로서의 매력으로 인해 많은 사람들에게 사랑 받아왔다. 하지만 한옥의 심미성이 상실된다면 한옥에 거주하려는 사람들의 동기가 크게 감소할 것이고 이는 곧 한옥 문화 소멸로 이어진다. 목조 구조물을 유지하기 위해서는 효과적인 목재 코팅이 필연적이지만, 현재 전통적인 목재 코팅에 사용되는 명유는 생산성이 낮다는 한계점을 가지고 있다. 따라서 본 연구는 대조군 우드스테인과 우리가 새롭게 제안하고자 하는 소이왁스, 밀랍을 비교하여 기존 명유를 대체할 천연 코팅제를 선정하는 것을 그 목적으로 한다. 코팅제의 궁극적 목적인 방수의 능력을 검증하기 위해 목재를 물에 담가 일정한 시간 간격으로 목재의 무게를 측정한 후 산점도 및 추세선을 나타내 비교하였다. 시간에 따른 무게 증감 간 관계는 선형 회귀분석을 통해 검증하였다. 더불어 천연왁스마다 함유되어있는 천연 항균 물질의 항균력을 디스크 확산 실험을 통해 비교하였다. 균주는 알레르기와 피부염 등을 일으키는 황색포도상구균을 사용하였다. 마지막으로 한옥의 미적 가치를 해칠 우려에 대해 색변화 실험을 진행하였으며, 코팅 후 목재의 RGB 값을 도출해 코팅 전과 비교하여 변화도를 따져보았다. 실험결과, 소이왁스와 밀랍의 방수 효과는 동일하였으며, 항균성에 있어서는 소이왁스가 더 효과적인 것으로 나타났다. 색변화에 있어서는 기존의 오일스테인이 목재의 색변화에 가장 미미한 영향을 미쳤다. 천연 코팅제 선정에 있어 방수성, 향균성, 색변화 순으로 가중치를 부여하였으며, 그 결과 소이왁스가 가장 효과적인 천연 코팅제라는 결론에 도달하였다.

서 론

1) 연구 동기

한옥마을은 우리의 전통적인 건축양식과 전통 문화를 보존하고 있는 중요한 장소 중 하나이다. 이러한 역사적인 장소를 보존하는 것은 우리의 문화유산을 유지하는 데 중요한 역할을 한다. 그 중에서도 은평 한옥마을은 그 아름다움과 역사적 가치로 알려져 있고 목재 구조물은 이 지역의 중요한 특징 중 하나인 걸로 알려져 있다. 목재 구조물을 유지하기 위해서는 효과적인 목재 코팅이 필요하다. 하지만 현재 한옥 건축 과정에서 목재의 부식을 방지하기 위해 사용되는 명유는 목재 보호에 특화되어 있지만, 생산기술로는 대량 생산이 불가능해 많은 목조 건축물의 부식 방지제로 사용되기에 어려움이 있다. 이를 보완하기 위해 은평한옥마을을 비롯한 많은 목조 문화재의 부식을 예방하고자 명유를 비교적 생산성이 높은 천연 왁스로 대체하고자 한다. 천연왁스는 현재 다양한 목재 가구 등의 코팅제로 활용되고 있어 이를 한옥 목재에 적용시키고자 한옥의 미를 해치지 않는 범위 내에서 천연 코팅제가 색변화에 미치는 유의미한 영향, 방수 효과의 유무, 알레르기 유발 균에 대한 항균 효과를 조사해 볼 필요성이 대두된다.

2) 연구 목적

본 연구에서는 기존 명유의 문제점을 해결할 목재 코팅제를 선정하기 위해 천연 왁스로의 대체 가능성, 적합성을 판단해 보려고 한다. 한옥 건축 기준 제4조(주요구조부) *'5. 외기에 접하는 목재에는 방습 · 방부 · 방염 등을 위하여 오일스테인 및 우드스테인 등을 도포하거나, 그 이상의 효과를 가진 조치를 하여야 한다.'*(국토교통부 건축문화경관과, 2021) 라는 원칙에 따라 은평한옥마을에서는 발수제(오일 스테인)을 사용하고 있다. 명유의 대체제로 사용되고 있는 합성물질인 오일 스테인과, 천연왁스 중 항균성이 검증된 소이왁스와 밀랍에 대해 색변화, 방수성, 항균성을 비교 및 탐구하였다.

우리나라 전통양식을 담은 고유건축물로써 한옥의 뛰어난 미적 가치를 해치지 않기 위해 코팅제가 미치는 목재의 색변화를 확인하였다. 또한 한옥 유지 관리에서 핵심적인 방수성을 검증하여 우천이나 누수 시 목재에 부식이 일어나는 것을 최소화하고자 하였다(서울특별시 한옥정책과, 2022). 마지막으로 항균성 실험에서는 알레르기 반응균이 서식하기 부적합한 친환경 한옥 코팅제를 위해 콩에 포함된 이소플라본과 밀랍 속 프로폴리스의 균 생장 억제 기능을 직접 실험 및 확인하였다. 균의 경우 접촉을 통해 감염되고 피부에 질병을 일으키는 황색포도상구균을 선정하여 증식 정도를 비교하여 항균성을 증명하였다.

이론적 배경

1) RGB

RGB는 빨강(Red), 초록(Green), 파랑(Blue)의 세 가지 기본 색을 나타내는 빛의 삼원색이다. 이 색상들은 디지털 이미지, 컴퓨터 모니터, 디지털 카메라 및 다양한 디스플레이 기기에서 사용되며, 이 세 가지 기본색을 다양한 비율로 조합함으로써 여러 색상을 표현할 수 있다. RGB는 빛의 혼합을 기반으로 하며, 각 색상의 강도를 조절하여 원하는 색상을 만들 수 있다. Red, Green, Blue는 각각 8비트로 표현되며 0부터 255까지의 정수값을 가진다. 디지털 컬러 모델에서는 각 원색의 농도를 수치화된 값으로 표시한다. 예를 들어, 0은 해당 색이 전혀 포함되지 않음을 나타내고 255는 해당 색이 100%로 포함됨을 나타낸다. 이를 rgb(0, 0, 0)와 같이 표현하며 rgb(0, 0, 0)는 검은색을 나타내고, rgb(255, 255, 255)는 흰색을 나타낸다.

2) 천연왁스 선정 조건

오일스테인은 투명 착색제 중 하나로 실내 또는 실외 목재 도포용의 도장착색제이다. 스테인의 종류는 성분에 따라 여러가지로 분류할 수 있다. 오일스테인은 소재를 거칠게 하지 않고 목재로의 침투성이 크며 퇴색이 적다는 장점이 있지만, 주변에 얼룩이 생기거나 주름이 생기는 단점이 있다.소이왁스는 콩과 콩의 기름으로 만들어진 천연왁스로, 연소될 때 그을음과 이산화탄소 발생이 적다. 밀랍은 일벌의 배 아래쪽에서 분비되는 노란색 천연 왁스이며 일벌은 이 밀랍으로 벌집을 만든다. 밀랍을 녹인 다음 여과기를 통해 불순물을 걸러내면 천연왁스로 사용할 수 있다. 소이왁스와 밀랍 모두 친환경적인 소재라고 할 수 있으며 방수성과 항균성이 검증되었기 때문에 본 실험에 사용하기에 적합하다. (한국양봉학회, 2023)

3) 방수성 실험

(1) 산성비가 목재에 미치는 영향

산업이 발전하고 자동차가 늘어남에 따라 대기 내 유해가스의 비중이 나날이 증가하고 있다. 대표적인 유해가스로는 황화물, 질소산화물, 산소화합물 등이 있으며, 이들은 공기 중 습기와 결합하거나 산성비의 형태로 내려 목재 및 석재 문화재에 많은 피해를 주고 있다. 강력한 산화물이 포함된 산성비는 유기물을 산화시킬 수 있으며, 특히 질소산화물은 목재의 주요한 구성성분인 셀룰로오스를 변질시킨다. 이는 목재의 보전에 큰 악영향을 미칠 수 있으며 건축물의 부식과 붕괴로 이어질 수 있다. (동아문화연구원, 2004)

(2) 주요 도시의 빗물 산도

은평 한옥 마을에 쓰일 코팅제에 대한 방수성을 확인할 필요가 있으므로 일정한 빗물 환경 조성이 필요하다. 주요 도시의 빗물 산도를 통하여 이를 확인하고자 한다.
환경부에서 제공하는 최근 10년간의 빗물 산도 자료를 고려했을때 ph5.5에서 ph6.0

사이가 빗물의 산성도로 적합하다고 판단했고, 환경부에서 빗물의 산성도는 ph5.6이 이상적인 값이라고 명시한 것을 통해 빗물의 산성도는 pH 5.6으로 설정하기로 하였다.

4) Staphylococcus aureus

황색포도상구균(Staphylococcus aureus)은 그람 양성, 통성혐기성, 무포자 구균으로 운동성이 없다. 자연계에 널리 분포되어 있을 뿐만 아니라 피부에 가장 많이 존재하고 있다. (강주영, 2021) 급성 감염병의 주요 원인 병원체이지만, 만성 알레르기 질환과도 상관관계가 있는 것으로도 알려져 있다. 특히, 황색포도상구균이 분비하는 병원성 독소 및 단백질 중 staphylococcal enterotoxins (SEs)과 serine protease-like proteins (Spls)는 2형 염증반응을 유발하거나 악화시킬 수 있으며, SE-IgE (Staphylococcus aureus enterotoxin immunoglobulin E) 감작은 성인 천식의 유병률과 중증도와 밀접히 관련되어 있다. (이지원, 2022)

5) 배지

배지는 다양한 균종이 잘 자랄 수 있도록 포도당, 물, 다양한 염, 아미노산의 원료 등을 포함한 영양공급원이다. 단순히 세균의 배양 용도 뿐만이 아니라 저장, 이동, 플라스미드 DNA 및 recombinant 단백질 제조의 용도로도 사용된다. 배지는 사용하는 용도, 균주를 배양시키는 목적 및 양에 따라 고체, 액체, 또는 반고체의 형태로 제작한다. 또한 배지를 물리적 상태가 아닌 직접적인 사용 목적에 따라 분류하기도 하는데, 이때는 배지를 일반 배지, 최소 배지, 선택 배지, 분별 배지, 수송 배지, 지표 배지 등으로 분류한다. 일반 배지(cultural media)는 일반적인 모든 균들이 번식할 수 있는 환경을 공급함으로써 균들의 생장 정도를 확인하는 데에 주로 사용된다. 다만 일반 배지의 작용은 모든 균에 대해 비특이적이기 때문에 다양한 균들을 하나의 일반 배지에 도말하면 각각의 균들의 개별적인 생장 정도를 확인할 수 없다. 최소 배지(Minimal media)는 특정 미생물이 성장할 수 있는 최소한의 영양 조건만을 충족시켜주는 배지를 의미한다. 최소 배지로서의 조건을 갖추려면 특정 미생물이 colony를 형성할 수 있는 최소한의 영양소를 포함시켜야한다. 최소 배지는 주로 자연 상태에서 채집한 불특정 미생물이 원하는 미생물인지 확인하는 용도로 사용하며, 재결합 박테리아와 원본 박테리아를 구별하기 위한 용도로도 사용된다. 선택 배지(selective media)는 특정 미생물만이 이용할 수 있는 영양물질만을 포함하는 배지를 의미한다. 선택 배지는 주로 여러가지 항생제 내성을 가진 박테리아들을 항생제 내성 유무를 기준으로 구별해내기 위해 사용한다. 또한 분별 배지(differential media)는 특정 미생물을 다른 미생물과 구별하기 위해 배지에 특수한 생화학적 지시약을 넣어 만든 배지를 의미한다. (극동대학교. 2017)

6) TSB 배지

일반적인 호기성, 통성혐기성 그리고 혐기성 세균과 곰팡이를 포함하는 굉장히 다양한 세균의 성장을 도와주는 영양배지이다. 성장을 촉진하는 능력 때문에 이 조성은 멸균 시험용 배지로써 그리고 미생물 한도 시험을 수행하는 데 사용하기 위한 것으로 USP 규격에 포함되었다. (MBcell, 2023.11.01)

7) 디스크 확산법

디스크 확산법은 세균의 항생제 감수성을 확인하기 위한 실험방법이다. 항생제 감수성은 쉽게 말해 세균이 항생제에 얼마나 민감한지의 정도이다. 세균이 어떤 항생제에 대해서 내성을 가질 수 있기 때문에 이를 확인하기 위해 디스크 확산법을 사용한다.

항생제가 포함된 디스크가 배지 위에 올라갔을때 항생제 성분은 농도기울기를 형성하면서 배지로 확산된다. 농도기울기는 물질,입자들이 단순확산을 통해서 확산될때 농도가 높은 곳과 낮은 곳을 통해서 계산한다. 디스크를 배지 위에 올려놓았을때 확산되는 물질(입자)는 항생제이고 농도가 높은 곳은 항생제 성분을 포함한 디스크, 농도가 낮은 곳은 세균이 있는 배지가 된다. 따라서 항생제가 단순확산을 통해서 아무 에너지를 들이지 않고 세균이 있는 배지로 이동하는 것이다. 세균이 항생제 감수성을 가지면 항생제 성분이 특정 농도 이상인 부분부터 세균의 생장이 억제되고 이때 생기는 원 모양의 영역을 억제 영역이라고 한다. 억제영역의 반지름을 측정하여 세균의 항생제 감수성을 확인하고 그 정도에 따라 감수성을 가짐(susceptible), 감수성을 어느 정도 가짐(intermediate), 내성을 가짐(resistant)로 나눈다.

8) 연속 희석법

연속 희석은 다양한 농도의 용액을 얻기 위해 물질을 단계적으로 희석하는 방법이다. 연속 희석의 본질은 설정된 희석배수를 통해 용액의 농도를 순차적으로 감소시키는 것이다. 이 방법은 고농도의 미생물을 함유하는 액체 또는 고체 형태의 표본으로 실험할 때 필수적이다. 또한 용액을 단계별로 희석하여 보고자 하는 샘플의 농도가 검출범위 내에 있는지도 확인할 수 있다. (American society for microbiology, 2005)

연구 방법

1. 색변화

3개의 목재의 크기를 30 x 30 x 100(mm)로 통일하여 3조각으로 자른다. 그리고 각각의 목재에 3가지 코팅제 오일스테인, 소이왁스, 밀랍을 약숟가락을 사용해서 모든 면에서 두께가 동일하도록 골고루 발랐다. 이후 각 코팅제가 완전히 마른 후 사진을 촬영하였다. 또한 시각적으로 바로 확인할 수 있는 변화를 보다 정확한 측정값으로 도출하기 위해 RGB값을 측정하였다. 촬영한 사진에서 각각의 목재에 4번의 점을 찍어 RGB 값을 분석하였다.

Fig 1) 각 목재에 코팅제를 바른 뒤 사진. 위부터 순서대로 밀랍, 소이왁스, 스테인, 아무것도 바르지 않은 목재이다

2. 방수성 실험

동일한 3개의 목재에 각각 오일스테인, 소이왁스, 밀랍을 녹여 모든 면에 골고루 바른 뒤, 마를 때까지 기다린다. 많은 선행연구를 바탕으로 산성비가 산림 생태계와 목재, 특히 문화유산과 같은 목재 건축물에 미치는 영향은 검증되어있다. 산성비는 나무와 코팅제의 부식을 가져올 수 있으며 이는 건축물의 유지를 어렵게 하여 추후 큰 피해를 불러올 수 있다(한국대기환경학회, 2011). 본 연구에서는 이러한 변인을 반영하기 위해 용매를 0.1M HCl 5 X 10^{-7} L를 증류수 2L에 넣어 전국 평균 빗물 산성도인 pH 5.6에 맞추었다. 목재의 초기 질량을 측정한 뒤 조성한 빗물에 목재를 담근다. 12시간 간격으로 목재를 꺼내 변화한 질량을 측정하였다.
시간에 따른 목재 질량을 〈Table 2〉와 같이 정리하였다.

Fig 2) pH 5.6 용액에 코팅한 세가지의 목재를 담가 15일간 변화된 질량을 측정하였다.

정리한 데이터를 바탕으로 R언어를 활용하여 시간과 목재 질량 간 상관관계의 유의성에 대한 가설검정을 진행하였으며, 그 결과를 바탕으로 회귀직선의 기울기를 비교하여 코팅제 별 방수효과의 정도에 대해 우위를 판단하였다. 독립변수와 종속변수 간 선형관계가 있음을 가정하여 lm() 함수를 이용하여 선형 회귀분석을 진행하였고, plot() 함수를 이용하여 산점도 및 추세선을 그렸다. 그리고 summary() 함수를 이용하여 회귀직선 및 회귀 모델의 설명력, 유의성을 검증할 수 있도록하는 값을 얻어 결과를 도출했다.

회귀분석을 진행한 코드는 다음과 같다.

```
library(readxl)
df <- read_excel("C:/Users/amy06/OneDrive/바탕 화면/하나고/지역연계.xlsx")
```

〈Code 1〉 세가지 회귀분석에서 모두 사용되며, 정리한 데이터를 불러오는 역할을 한다.

i) 밀랍

```
lm.df <- lm(`Weight of Beeswax`~ time, data=df)
plot(df$time, df$`Weight of Beeswax`,
     main="Correlation between weight and time of bead wax coated wood in water",
     xlab="Time(h)" , ylab = "Weight of Beeswax(g)")
abline(lm.df, col="red")

summary(lm.df)
```

〈Code 2〉

ii) 우드스테인

```
lm.df <- lm(`Weight of Woodstain`~ time, data=df)
plot(df$time, df$`Weight of Woodstain`,
     main="Correlation between Woodstained Coated Wood Weight and Time in Water",
     xlab="Time(h)" , ylab = "Weight of Woodstain(g)")
abline(lm.df, col="red")

summary(lm.df)
```

〈Code 3〉

iii) 소이왁스

```
lm.df <- lm(`Weight of Soy wax`~ time, data=df)
plot(df$time, df$`Weight of Soy wax`,
     main="Correlation between weight and time of soy wax coated wood in water",
     xlab="Time(h)" , ylab = "Weight of Soywax(g)")
abline(lm.df, col="red")

summary(lm.df)
```

〈Code 4〉

3. 항균성 실험

균주 배양에 필요한 액체배지를 조성하기 위해 삼각 플라스크에 TSB 분말(s) 6.75g과 NaCl(s) 22.5g을 증류수에 용해하여 225ml의 10% NaCl TSB 배지를 조성한다. 교반기를 이용하여 배지를 균등하게 섞은 뒤 삼각 플라스크의 입구를 막고 15분 고온 가열하여 멸균 과정을 거친다. 조성된 배지를 멸균 스포이드를 사용하여 30ml씩 멸균된 50ml 코니컬튜브 3개에 나누어담는다.

배지의 멸균을 확인하기 위해 하나의 코니컬튜브에는 배지에 균을 접종하지 않고 배양하며, 나머지 코니컬튜브에는 각각 균 원액 10μm, 1/10으로 희석한 균 10μm을 접종하여 섭씨 37도에서 24시간 배양한다.

사진으로 확인되는 것과 같이 아무것도 접종하지 않은 배지에는 어떠한 균도 자라지 않았고, 이를 통해 황색포도상구균 접종 전 배지가 완벽히 멸균된 상태임을 입증할 수 있다. 또한 실험을 통해 키운 균이 Staphylococcus aureus (황색포도상구균) 단일균주임을 간접적으로 증명할 수 있다.

위 실험 이후 진행한 디스크확산 실험에서는 보다 균이 활발하게 활동할 가능성이 높은 1/10배 희석해 배양한 균주를 사용하였다.

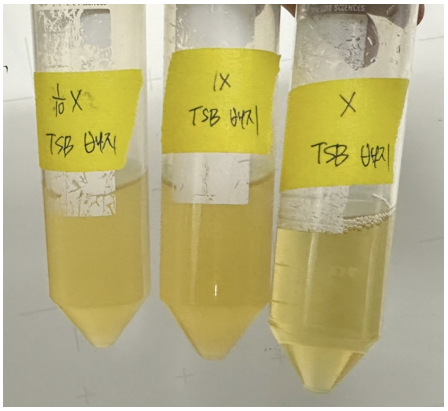


Fig 3) 섭씨 37도, 24시간 배양기에서 배양한 직후의 Staphylococcus aureus(황색포도상구균). 왼쪽부터 차례로 1/10 희석한 균, 균 원액, 아무것도 배양하지 않은 배지이다.

실험의 변인은 천연 왁스의 종류이며, 실험에서는 밀랍과 소이왁스를 사용하였다. 각 천연왁스마다 함유되어있는 천연 향균 물질의 향균력을 디스크 확산 실험을 통해 비교하는 것이 실험의 궁극적 목표이다. 하지만 왁스의 특성상 실온의 온도에서 굳어 고체화되므로 왁스 자체로는 액체상태 항균물질의 항균성을 확산을 통해 확인하는 디스크 확산법이 불가능 할 것이라 판단하였다. 따라서 에탄올 추출법을 이용해 천연왁스에서 향균물질을 직접 추출하고자 하였다(Przybylek, I., & Karpinski, T. M., 2019).

밀랍과 소이왁스 100g을 각각 플라스크에 넣고 99% 에탄올 300ml와 섞어 섭씨 70도에서 1시간동안 교반하여 밀랍과 소이왁스에 포함되어있는 가용성 물질들을 추출한다. 에탄올의 비점이 약 섭씨 78도이며, 밀랍과 소이왁스의 녹는점이 70도 이하이므로 섭씨 70도에서 효율적으로 가용성 물질을 추출할 수 있다. 에탄올의 증발을 최소화 하도록 호일로 삼각 플라스크의 입구를 막고 작은 구멍을 뚫어 삼각 플라스크를 교반하며 가열하였다. 이렇게 얻은 용액을 거름종이를 이용해 여과한 뒤, 여액 부피의 1배수의 물을 넣고 가열하여 에탄올을 증발시킨다. 남은 에탄올의 양이 과도하게 많을 시 천연 항균 물질 이외에 에탄올에 의한 항균효과가 실험 결과로 나타날 가능성이 있어 전체 용액 대비 에탄올의 농도를 15% 미만까지 감소시켜야 한다. 물의 비점이 섭씨 100도이므로 100도 이하, 80도 이상의 온도로 가열해야 한다. 용액 내 에탄올의 농도를 감소시킨 후 용액을 0~4도로 냉각시켜 침전되는 밀랍을 모두 제거하여 최종적으로 향균 성분이 희석되어있는 용액을 추출한다.

디스크 확산 실험을 진행하기 위해 TSA 고체 배지에 배양균 100μm을 도말한다. 도말한 배지를 네 구역으로 나누어 각각 오일스테인, 소이왁스, 밀랍, 70% 알코올을 라벨링한다. 각 구역에 맞는 용액을 적신 디스크를 구역별로 하나씩 올려 확산되도록 10분간 방치한 뒤 배양기에서 섭씨 37도, 24시간 배양한다.

결과 및 고찰

1. 색변화 실험

목재에 코팅제를 바른 뒤 촬영한 사진에 그림판 앱을 사용해 임의로 여러 군데 점을 찍어 나타난 RGB 값의 평균값을 도출한 결과, 아래 표와 같은 결과값이 나타났다.

	기존 목재	오일 스테인	소이왁스	밀랍
RGB	(189.3, 178.8, 105)	(189.5, 179.3, 136.5)	(194.5, 187, 161)	(189, 175.5, 130.3)
변화	(0,0,0)	(+0.2, +0.5, +31.5)	(+5.2, +8.2, +56)	(−0.3, −3.3, −25.3)

〈Table 1〉 왁스 종류별 목재의 RGB값 변화량

사진에 점을 찍어 RGB 값을 도출하는 방식은 조명이나 나이테 등의 영향으로 인해 사진 속 목재의 특정 위치에 치우친 결과값이 도출될 수 있다. 때문에 보다 정확하고 객관적인 결과를 위해 RGB 값을 한 군데에서 도출하기보다 여러 군데의 RGB 값을 도출한 뒤 그 값들의 평균을 구한 값을 결과값으로 활용하였다. 평균을 낸 결과값은 소수 첫째 자리까지 나타내었다. 사진상으로만 봤을 때는 소이왁스와 밀랍의 색 변화량 차이를 구분하기 어려웠지만 결과값 분석을 통해 세 가지 코팅제 중 코팅제를 발랐을 때 색 변화량이 가장 작은 것은 오일스테인이고 가장 큰 것은 소이왁스임을 확인할 수 있었다.

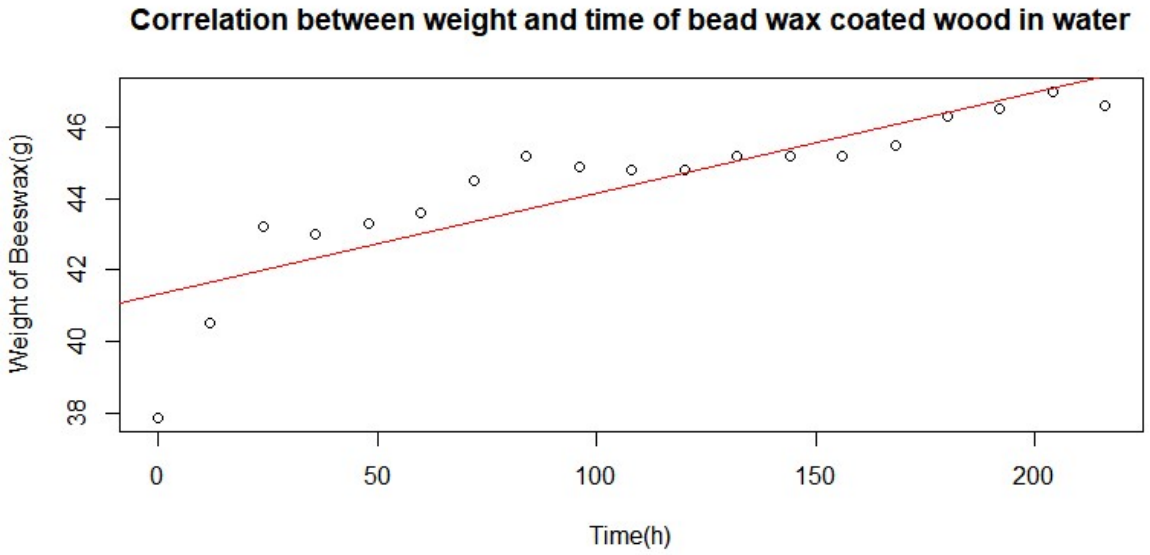
Fig 4) RGB값을 도출을 위해 임의로 점을 찍은 위치

2. 방수성 실험

실험 측정값과 시간의 값이 '0'일때의 목재 무게의 차가 목재가 흡수한 물의 양이라고 할 수 있으며, 이를 바탕으로 시간의 경과에 따른 목재 무게의 변화를 통계적으로 관찰하고자 한다.

코팅을 완료한 후 물에 담가놓은 목재의 무게를 12시간 간격으로 측정한 결과는 〈Table 2〉와 같으며, 측정값을 바탕으로 회귀분석을 통해 시간과 코팅제 종류 별 목재의 무게 간 상관관계의 통계적 유의성을 분석하였다. 여기서 독립변수는 TIme, 그리고 종속변수는 각 경우에 따라 Weight of Wood Stain, Weight of Beeswax, Weight of Soy Wax로 설정하였다. R을 이용하여 회귀분석을 진행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(i) 밀랍



summary() 함수로부터 산출된 결과값을 해석하면 다음과 같다.

Pr(>|t|)는 t 분포를 사용하여 각 변수가 통계적으로 유의미한 지 판단할 수 있는 p-value 값을 알려주며, 숫자 뒤 * 기호의 문자열을 통해 유의한 계수임을 나타낸다. *이 한 개면 유의수준 0.05를 만족시키는 것을 뜻하며, 두 개인 경우 0.01, 3개인 경우 0.001에 충족함을 나타낸다.

(Intercept)는 상수항(절편)의 추정치로, 41.329947이며, Pr(>|t|) 값에 따라 매우 유의미한 결과임을 알 수 있다. 회귀직선의 기울기는 0.028212임을 알 수 있으며 Pr(>|t|) 값에 따라 마찬가지로 매유 유의미한 값으로 해석된다. 따라서 회귀직선은 y = 0.028212x + 41.329947 라고 나타낼 수 있다.

Residual standard error(잔차 표준 오차)는 예측값과 실제 관측값 사이 차이를 나타내는 오차의 표준편차이며, 이 값이 낮을수록 모델의 예측 성능이 좋다는 것을 의미한다. 밀랍에서 이 값은 1.135가 도출되었다.

Multiple R-squared(결정계수)는 1에 가까울수록 회귀직선이 실제 관측값을 보다 정확하게 설명한다고 판단되며, 결과에서 나타난 0.7488은 이 회귀직선이 관측값의 74.88%를 설명할 수 있음을 뜻한다. Adjusted R-squared(조정된 결정계수)는 주로 다중회귀분석에서 독립변수를 증가시킬 경우 결정계수가 올라가는 특성에 의해 데이터 분석에 있어 부정확한 결과가 나오는 것을 방지하기 위해 사용된다. 마찬가지로 모델이 대상 변수를 얼마나 설명하는지를 의미하며, 0.734로 결정계수와 크게 차이나지 않는 값이 도출된다.

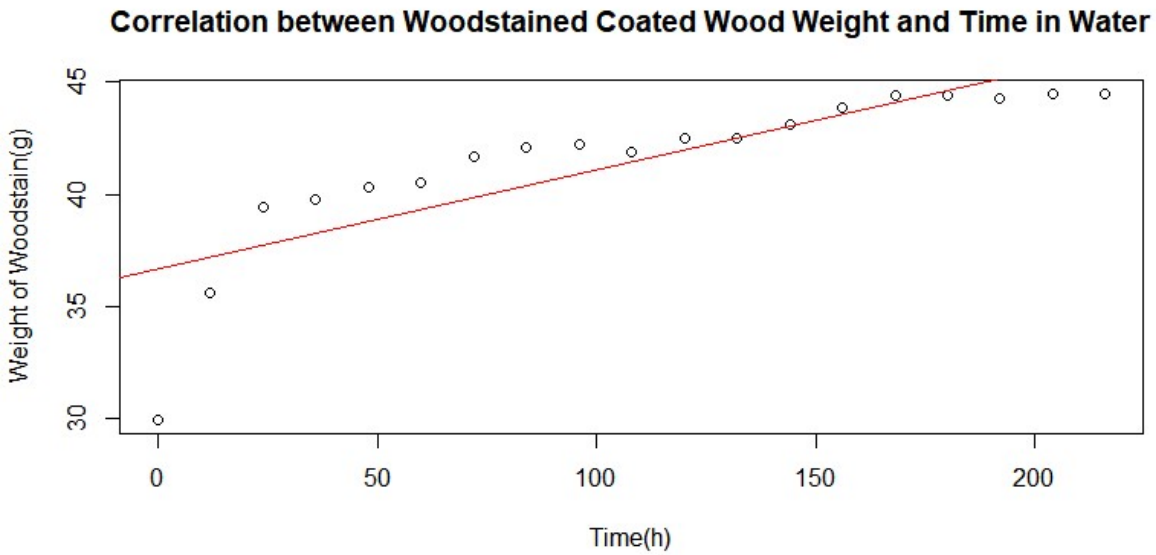
F-statistic(F-통계량)은 회귀 모델이 통계적으로 얼마나 의미가 있는지를 검정하기 위한 통계량이다. 그룹 평균제곱(MSG)와 오차 평균제곱(MSE)의 비율을 F 분포를 사용해 검정한 것이며, summary() 함수에서는 그에 내장되어 있는 anova() 함수를 통해 계산된다. 이 값이 클수록 회귀모델의 설명력이 높은 것을 의미하며, 본 결과에 따르면 50.68의 값을 가진다. F-통계량의 유의성은 이에 대한 p-value(p-값)로 검정하게되며, 신뢰도는 95%로 설정하였다.

H0 = 상관계수가 0이다.

H1 = 상관계수가 0이 아니다.

p-값은 1.721e-06(=0.000002)으로 유의수준 0.05보다 작으므로 영가설을 기각하게 되고, 그 결과 시간에 따른 밀랍코팅제 목재 무게는 상관관계를 가진다고 해석된다.

(ii) 우드스테인



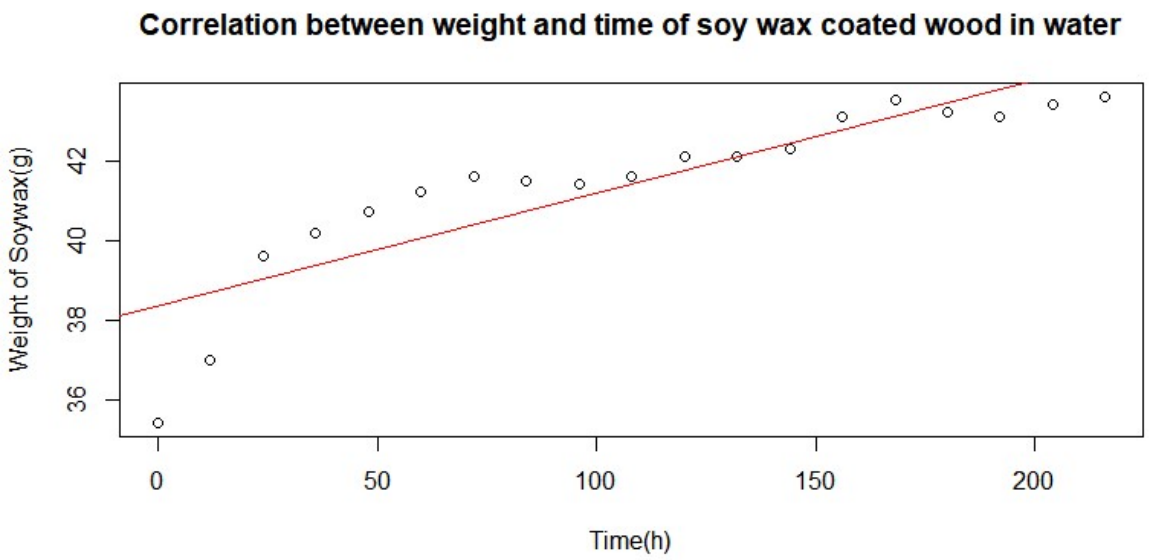
(Intercept)는 상수항(절편)의 추정치로, 36.647474이며, Pr(>|t|) 값에 따라 매우 유의미한 결과임을 알 수 있다. 단순 선형 회귀분석에서, 기울기는 0.04439임을 알 수 있으며 Pr(>|t|) 값에 따라 마찬가지로 매우 유의미한 값으로 해석된다. 따라서 회귀직선은 y=0.04439x+36.647474 라고 나타낼 수 있다.

Residual standard error(잔차 표준 오차)는 2.042로 밀랍에서의 경우보다 크다는 것을 알 수 있으며, 이는 즉 회귀모델이 밀랍에 비해 설명력이 약하다는 것을 의미한다.

Multiple R-squared(결정계수)는 0.6957로, 이 회귀직선이 관측값의 69.57% 설명할 수 있음을 뜻한다. Adjusted R-squared(조정된 결정계수)는 0.6778이라는 값이 도출되며 결정계수와 큰 차이를 보이지 않는다.

F-statistic(F-통계량)은 38.87로 밀랍의 경우에 비해 상대적으로 작은 값을 가진다. p-값은 9.062e-06(=0.000009)로 유의수준 0.05보다 작다는 것을 확인할 수 있으며,이는 영가설을 기각하게 되고, 상관성이 있음을 입증한다.

(iii) 소이왁스



(Intercept)는 상수항(절편)의 추정치로, 38.356895이며, Pr(>|t|) 값에 따라 매우 유의미한 결과임을 알 수 있다. 단순 선형 회귀분석에서, 기울기는 0.028192임을 알 수 있으며 Pr(>|t|) 값에 따라 마찬가지로 매우 유의미한 값으로 해석된다. 따라서 회귀직선은 y=0.028192x+38.356895 라고 나타낼 수 있다.

Residual standard error(잔차 표준 오차)는 1.061으로 가장 작은 것을 알 수 있으며, 이는 즉 이 회귀모델이 비교적 설명력이 높다는 것을 의미한다.

Multiple R-squared(결정계수)는 0.7733으로, 이 회귀직선이 관측값의 77.33% 설명할 수 있음을 뜻한다. Adjusted R-squared(조정된 결정계수)는 0.7599이라는 값이 도출되며 결정계수와 큰 차이를 보이지 않는다.

F-statistic(F-통계량)은 57.98로 상대적으로 큰 값을 가진다. p-값은 7.103e-07(=0.0000007)로 유의수준 0.05보다 훨씬 작다는 것을 확인할 수 있으며,이는 영가설을 기각하게 되고, 상관성을 가진다는 것을 입증한다.

이를 바탕으로 회귀직선 간 기울기를 비교하면, 소이왁스(0.028192), 밀랍(0.028212), 우드스테인(0.04439) 순으로 작은 것을 알 수 있으며 따라서 방수성 측면에 있어서는 소이왁스가 가장 우수하다고 판단할 수 있다.

3. 항균성 실험

천연 왁스에 함유되어있는 천연 물질의 항균성을 측정하기 위한 디스크 확산 실험의 결과는 다음과 같다. 항균력을 가진 물질인 70% 알코올 디스크 주변 억제대의 지름인 1.1mm를 기준으로, 소이왁스는 지름 1.0mm, 밀랍은 지름 0.85mm의 억제대가 생성되었다. 알코올의 억제대를 기준으로 밀랍의 억제대는 비교적 작은 지름을 가지고 있었으며, 소이왁스는 넓은 억제대를 가지고 있으나 억제대 위로 균이 일부 자란 것을 확인할 수 있었다. 오일스테인은 억제대가 형성되지 않았으며, 이를 통해 오일스테인에는 항균성이 있는 물질이 없음을 확인하였다.

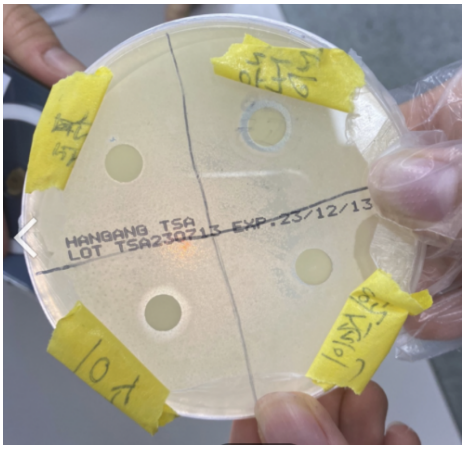


Fig 5) 섭씨 37도, 24시간 배양기에서 배양한 디스크 확산 실험의 결과. 오른쪽 위에서부터 시계방향으로 70% 알코올, 오일스테인, 소이왁스, 밀랍의 결과

결론 및 제언

본 연구의 궁극적 목적은 효과적인 친환경 목재 코팅제의 발견에 있으므로 천연왁스로 실험한 색변화, 방수성, 항균성에 대한 평가 지표가 필요하다. 코팅제를 목재에 도포하는 목적은 앞서 제시하였던 한옥 건축 기준에 의거하여 외부적 요인으로부터 목재의 손상과 부식을 막는 것에 있다. 따라서 천연왁스별 방수성 실험의 결과가 효과적인 친환경 코팅제를 평가하는 주된 목표가 되어야 한다고 판단하였다. 각 코팅 목재에 대한 회귀직선 및 기울기를 구해 비교하기에 앞서, 독립변수(시간)과 목재의 무게 간 상관성이 있는지에 대해 R 프로그램을 이용하여 가설검정을 진행하였다. 관측값의 개수가 부족하여 정확한 모델을 도출해내는 것에 한계가 존재하는 것은 사실이나, 그럼에도 세가지 코팅 목재 모두 회귀직선이 통계적 유의성을 가진다는 것을 확인하였다. 마찬가지로 R 프로그램을 이용하여 각 코팅 목재에 대해 시간에 따른 무게를 산점도로 나타내고 회귀직선 함수를 구하였다. 각 코팅제 별 시간에 따른 무게 증가율은 회귀직선의 기울기와 같으므로 기울기를 비교하면, 작은 순대로 소이왁스(0.028192), 밀랍(0.028212), 우드스테인(0.04439) 이다. 따라서 방수성에 있어서 소이왁스가 가장 우수하다는 결론에 도달할 수 있다.

다음으로 중요하게 고려해야 하는 대상은 항균성이다. '미관'이라는 가치를 개인의 입장에서 판단하여 수치화 할 수 없으며, 개인마다 아름다움을 느끼는 대상에 대한 편차가 심하기 때문에 단순히 기존 목재에서 얼마나 색이 변하였는지 측정하는 것은 미관의 아름다움을 평가하는 것과는 거리가 멀다. 목재의 변색에는 코팅제를 제외하고도 다양한 요인들이 존재하며, 이 중에는 목재의 수분 응축 정도와 균의 생장또한 포함된다. 이러한 요인들에 의한 색변화는 코팅제로 인한 색변화와는 다른 양상을 띄며, 산발적이며 어두운 반점 형태의 변색을 포함한다. 이러한 변색의 양상이 코팅제가 목재 조형물의 미관을 훼손하는 정도보다 미적 관점에서 더욱 해가 된다고 판단하여 항균성을 다음 고려 대상으로 선정하였다. 70% 알코올이 가진 억제대를 기준으로 같은 양의 오일스테인으로 시행한 디스크확산 실험의 결과, 오일스테인이 확산된 배지에는 억제대가 형성되지 않았으며, 황색포도상구균이 정상적으로 증식한 것을 사진1)을 통해 확인할 수 있다. 이를 통해 오일스테인은 항균성이 없다는 것이 증명되었다. 밀랍의 경우 70% 알코올의 억제대와 비교하였을 때 비교적 작은 크기의 억제대가 형성되었다. 지름의 크기로는 큰 차이를 알 수 없어 보이나 이러한 지름은 디스크의 지름을 포함한 크기이며, 실질적인 확산을 통한 억제대의 크기는 알코올에 비해 매우 작음을 확인할 수 있다. 소이왁스의 경우 억제대의 크기는 알코올과 유사하지만 억제대 위로 일부 균이 자란 것을 확인할 수 있다. 이는 다양한 요인이 있을 수 있다. 소이왁스에 포함되어있는 항균 물질의 항균력이 황색포도상구균의 재확산을 막을 만큼 크지 못하거나, 첨가되어있는 항균물질의 양이 상대적으로 작을 수 있다. 추후 재실험을 통해 추가로 확인해야 하는 부분이 있으나 현재 완료된 실험까지 보았을 때 소이왁스의 항균효과가 밀랍과 우드스테인에 비해 크다는 것을 확인할 수 있다. 이는 소이왁스에 함유되어있는 이소플라본의 항균효과가 가장 크게 작용한다는 것을 증명한다.

소이왁스는 콩과 콩기름으로 제조할 수 있어 환경친화적이고 생산성도 높으며 인체에도 무해하다. 이는 본 연구의 목적인 명유를 대체할 친환경적 목재 코팅제에 부합하는 결과이다. 따라서 본 연구의 결과에 따라 명유를 대신할 친환경 한옥 목재 코팅제의 원료로 소이왁스를 제안하는 바이다. 다만 소이왁스의 색변화 실험 결과 목재 고유의 결 선명도가 줄어들고, 모든 RGB값이 증가하며 전체적인 채도가 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이를 방지하기 위해 소이왁스를 실제 목제 코팅제로 활용하기 위해서는 화학적인 공정을

추가로 거쳐 보다 투명하게 사용하여 한옥의 미를 살리며 목재를 보호할 수 있는 방안을 추후 연구를 통해 마련해야한다.

부 록

time	Weight of Woodstain	time	Weight of Beeswax	time	Weight of Soy wax
0	29.92	0	37.85	0	35.43
12	35.57	12	40.51	12	37
24	39.4	24	43.2	24	39.6
36	39.8	36	43	36	40.2
48	40.3	48	43.3	48	40.7
60	40.5	60	43.6	60	41.2
72	41.7	72	44.5	72	41.6
84	42.1	84	45.2	84	41.5
96	42.2	96	44.9	96	41.4
108	41.9	108	44.8	108	41.6
120	42.5	120	44.8	120	42.1
132	42.5	132	45.2	132	42.1
144	43.1	144	45.2	144	42.3
156	43.9	156	45.2	156	43.1
168	44.4	168	45.5	168	43.5
180	44.4	180	46.3	180	43.2
192	44.3	192	46.5	192	43.1
204	44.5	204	47	204	43.4
216	44.5	216	46.6	216	43.6

〈Table 2〉 물에 담가놓은 목재의 무게 변화를 12시간 간격으로 측정한 데이터

참고 문헌

강주영. "황색포도상구균 분리 배지의 검출효율 및 정확도 비교." 국내석사학위논문 순천대학교 대학원, 2021. 전라남도. https://www.riss.kr/search/detail/DetailView.do?p_mat_type=be54d9b8bc7cdb09&control_no=a67fbd43f1b9b215ffe0bdc3ef48d419

국토교통부(건축문화경관과). (2021). 한옥 건축 기준. https://www.law.go.kr/LSW/admRulLsInfoP.do?admRulSeq=2100000206 163

동아문화연구원. (2004). 동아문화연구원 학술세미나 발표자료제2집

서울특별시 한옥정책과. (2022). 한옥 유지관리 매뉴얼. https://hanok.seoul.go.kr/home/data/scw/bbs/BBS_202202081117127780.pdf

이지원. 2022. 담배연기 추출물에 의한 황색포도상구균 분비 단백체 연구. 울산대학교 대학원 이학석사 학위 논문 https://oak.ulsan.ac.kr/handle/2021.oak/9909

이재은, 박세연. (2022). 플라보노이드(Flavonoids)의 구조적 특성에 따른 피부에 미치는 영향에 관한 고찰. https://www.e-ajbc.org/m/journal/view.php?number=1391

최기, 지정용. (2013). 친환경 페인트를 활용한 목 공예품 및 목재가구의 다양한 표면장식기법 개발방안 연구.https://www.kci.go.kr/kciportal/ci/sereArticleSearch/ciSereArtiView.kci?sereArticleSearchBean.artiId=ART001742348

한국대기환경학회. (2011). 산성비. http://www.kosae.or.kr/temp/2014/2/03-20140317.pdf

한국양봉학회. (2023). 국산 밀랍의 일반성분 분석 및 영양학적 가치평가 https://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE11548032

EnBio Lab. (2019). 항생제 디스크 / Antibiotic Disc Dispenser / 디스크확산법 / Disc Diffusion Method. https://blog.naver.com/eblab0163/221549793586

Jackie Reynolds. (2005). Serial Dilution Protocols. https://asm.org/ASM/media/Protocol-Images/Serial-Dilution-Protocols.pdf?ext=.pdf

MBcell. 2021. “[대한약전 무균시험법] TSB와 FTM 배지의 차이, 배지 성능 시험”. 미생물(블로그). 2021.12.24. https://blog.naver.com/mbcell/222603433704

Mohammed Saad Almuhayawi. (2020). Propolis as a novel antibacterial agent. https://sci-hub.se/10.1016/j.sjbs.2020.09.016

Przyby ł ek, I., & Karpiński, T. M. (2019). Antibacterial Properties of Propolis. *Molecules (Basel, Switzerland)*, *24*(11), 2047. https://doi.org/10.3390/molecules24112047