

낙동강 수변공원에 서식하는 식물 군집의 종 다양성 분석 : 조사 방법에 따른 차이 비교

남기정*·김민중

경상국립대학교 생물교육과

Comparison of sampling methods in biodiversity analysis of plant communities living in a riparian park area of Nakdong river

Ki-jung Nam*, Min-jung Kim

Department of Biology Education, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea
Institute of Agriculture & Life Science, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea
(Received : 10 November 2022, Revised : 21 November 2022, Accepted : 21 November 2022)

요약

식물 군집의 종다양성은 정량적으로 측정되며 이때 군집을 조사하는 방법이 결과에 영향을 미칠 수 있다. 본 연구는 낙동강 수변 생태 공원 다섯지역에 서식하는 초본 군집을 대상으로, 세 가지 군집 조사 방법(modified Whittaker 법, modified Daubenmire 법, modified Point-line intercept transect 법)을 적용하였을 때 군집의 구조 및 다양성 양상이 어떻게 다르게 나타나는지 실험적으로 살펴보았다. 연구 결과로 산출한 다양도 profile에 따르면, modified Whittaker 법으로 조사하였을 때 지역에 상관없이 종풍부도가 가장 높게 나타났으나, 지역에 따라 우점하는 종의 다양도가 높은 방법이 서로 달랐다. 지역들간 β 다양성을 조사한 결과, modified Whittaker 법, modified Daubenmire 법은 다섯지역의 식물군집의 구조가 유사함을 시사한 반면, Point-line intercept 법은 소수의 우점종을 공유함을 시사하였다.

핵심용어 : 종다양성, 식물군집, 샘플링 방법

Abstract

The species diversity of plant communities is quantitatively measured, and can be affected by plant monitoring methods. This study experimentally compared the structure and diversity of plant communities living in five waterfront park areas in Nak-dong River using three plant survey methods (modified Whittaker, modified Daubenmire, and modified point-line intercept method). According to the diversity profile, the modified Whittaker method produced the highest species richness regardless of the location, but which method makes the highest diversity of dominant species varies depending on the location. The β diversity of the communities calculated from the modified Whittaker and the modified Daubenmire suggested that structures of plant communities in five locations were similar, while the Point-line interception method suggested that a small number of dominant species were shared between communities.

Key words : Biodiversity, Plant community, Sampling methods

*To whom correspondence should be addressed.

Department of Biology Education, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea
E-mail: prin225@gnu.ac.kr

• **Min-jung Kim** Department of Biology Education, Gyeongsang National University / Undergraduate student(jug9211@naver.com)
• **Ki-jung Nam** Department of Biology Education, Gyeongsang National University / Associate professor Ph.D (prin225@gnu.ac.kr)

1. 서론

생태계를 구성하는 자생식물의 다양성을 모니터링하고, 유입된 외래식물을 찾아 분포 및 정착 정도를 파악하며, 개체수가 적은 식물을 찾아 보전대책을 마련하는 것은 식물 군집의 종다양성을 관리하는 가장 기본적인 방법이다(De Stefano et al., 2021). 종다양성을 유지하는 것은 생태계의 기능을 온전하게 유지하는데 필수적이며, 최근의 전 지구적인 종다양성 감소 추세에 따라 종다양성이 유지되는 기작, 그리고 변화의 원인 및 메커니즘을 이해하는 것은 점점 더

중요해지고 있으며, 생태학의 주요 연구 목적이 되어 있다 (Roswell et al., 2021).

종다양성 연구에서 종다양성을 구체적으로 정량화하여 측정하는 것은 필수적이다. 복잡한 추상적 개념인 종다양성은 다양성지수(diversity index)라는 수학적 도구로 정량화하며, 이를 이용하여 종다양성의 시공간적 차이 및 종 자체 및 기능그룹의 차이 등을 비교할 수 있다(Daly et al., 2018). 그리고 다양성 지수는 기본적으로 식물 군집 조사 시에 발견되는 종의 수 및 다양함에 의해 결정되며, 이는 조사 방법, 조사자의 능력, 조사 노력 등의 변수에 의해 결



Fig. 1. A map showing study locations. A : Changneung-Hapchun Bo Green Eco park (N35° 35.953', E128° 21.436'); B : Haman Gilgok Riverside Eco park (N35° 22.929', E128° 34.731'); C : Hakpo Riverside Eco park (N35° 22.644', E128° 38.838'); D : Myongre Riverside park (N35° 20.937', E128° 45.960'); E : Samrangjin Culture Eco park (N35° 23.522', E128° 50.511'). Parentheses are GPS figures of study sites in study locations.

정된다 (Iknayan et al., 2014). 특히, 대부분의 경우 공간에 존재하는 모든 종을 전부 찾아 기록하는 것은 불가능하고 결과적으로 전체 중 일부의 데이터를 이용하여 다양성을 측정하게 되므로, 조사 방법에 따라 얻어지는 값에 차이가 생길 수 밖에 없다(Chao et al., 2014b). 그러므로, 효율적이고 일관된 값을 산출할 수 있는 조사 방법은 시간에 따른 종다양성 변화, 공간들 사이의 종다양성 차이 양상 등을 올바르게 파악하기 위한 필수조건이 된다.

다양한 방법들이 식물 군집을 조사하는 목적으로 제시되어 왔고 사용되고 있다. 주로 사용되고 있는 방법들은 line transect을 이용한 point-line intercept 방법, line transect에 방형구법을 더한 belt transect 방법, (modified) Daubenmire 방법, 그리고 근래 사용이 늘고 있는 Whittaker plot을 이용한 방법 등이 있다(Abrahamson et al., 2011; Cox et al., 2017; Hulvey et al., 2018). 방법에 따라 조사면적이 상이하고 조사에 들어가는 시간 및 에너지도 상이하하며, 많지는 않지만 산림이나 초지, 수변의 식물 군집을 대상으로 각 조사방법을 비교한 연구들도 존재한다(Stohlgren et al., 1995; Stohlgren et al., 1998; Pilliod and Arkle, 2013; De Stefano et al., 2021).

국내의 하천변 식생 조사는 다양한 분야에서 다양한 목적으로 이루어져 왔다. 그러나, 주로 군집을 이루는 식물의 종 구성이나 귀화 식물 출현 양상 등을 파악하는 연구가 주를 이루고, 식물 군집의 다양성 양상 및 변화에 초점을 맞추어 진행된 연구는 거의 없다. 연구 방법 역시 대부분 유사하여, 가령 transect 없이 2×2m or 3×3m의 정사각형 방형구를 설치한 뒤 출현종의 피도를 구하거나 (예로 Lee et al., 2014), line transect을 하천의 수직방향으로 설치한 뒤 일정한 간격으로 방형구를 두고 출현한 식물 종의 피도를 측정하는 (modified) Daubenmire 방법 (또는 modified belt transect 방법) 등을 사용하였다(예로 Lee et al., 2018). 이 경우, 목본과 초본의 피도를 같이 측정하고, 피도 단위는 r, +, 1~5의 7개의 구간으로 기록하는 Braun-Blanquet 방법을 사용하였으며 이후 median 값으로 구간 값을 치환하여 분석하였다. 그러나, 하천변 식생을 대상으로 여러 이용 가능한 방법들의 장단점 및 효율을 확인하는, 방법론 자체에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다.

본 연구는, 낙동강 하천변의 인위적으로 교란된 환경에서 서식하는 초본 군집을 대상으로, 세 가지 군집 조사 방법(modified Whittaker 법, modified Daubenmire 법, modified Point-line intercept transect 법)을 적용하였을 때 군집의 구조 및 다양성 양상이 어떻게 다르게 나타나는지 실험적으로 살펴보고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구 장소

본 연구는 낙동강 중, 하류에 위치한 다섯 군데 수변공원 내에서 수행되었다(Fig.1). 수변공원은 4대강 사업시에 일

차적으로 형성된 이후 4대강 살리기 사업으로 다시 생태공원으로 조성된 곳으로, 다양한 수준으로 관리되고 있으나 대부분 넓은 지역 중 일부가 관리되고 나머지는 산책길 혹은 자전거길 위주로 관리되고 있어 그 외 지역은 인위적인 교란으로 만들어진 토양에 10여년동안 외래식물을 포함한 다양한 초본식물들이 정착하여 자라고 있다.

이 지역의 연 평균 기온은 13.4°C 이고 연 평균 강수량은 1258.3 mm이며, 여름 평균 기온은 24.0°C, 평균 강수량은 693 mm이다. 연구지 토양은 모래가 60% 이상인 사양토, 양질사토 또는 사토이고, 유기물 함량은 1.2%, NH_3^+-N 은 141.9 mg kg⁻¹, NO_3^--N 은 175.7 mg kg⁻¹, 유효인산은 73.5 mg kg⁻¹, 치환성 칼륨은 0.1 mg kg⁻¹, 치환성 칼슘은 3.3 mg kg⁻¹, 양이온치환용량은 7.5 cmol⁺ kg⁻¹, pH는 4.9이다.

2.2 식생 조사

식생 조사는 2022년 8~9월, 비가 오지 않는 맑은 날에 수행하였다. 식물 군집 조사를 위해 modified Whittaker plot (이하 WH) 방법, modified Daubenmire transect (이하 MD) 방법, modified Point-line intercept transect (이하 PL) 방법을 적용하였다. WH 방법을 위해, 공원 내 임의의 장소를 정한 뒤 50m 줄자를 이용하여 50m×20m의 큰 방형구를 설치하고, 방형구 내에 다시 20m×5m 작은 방형구를 설치하였다. 식물 피도 조사를 위해 큰 방형구 선을 따라 6개, 작은 방형구 선을 따라 4개로 총 10개의 1m×1m 방형구를 선택하였고, 1m×1m 방형구는 0.5m×1m 방형구 2개를 나란히 붙여 피도 측정에 사용하였다. 1m×1m 방형구에 출현한 모든 종의 피도를 측정하였고, 이후 20m×5m 방형구, 20m×50m 방형구 순으로 이동하면서 식물종을 조사하여 기록하였다. MD 방법을 위해, 50m 줄자를 이용하여 50m line transect을 설치한 후, 매 10m 마다 0.5m×1m 방형구 2개를 나란히 붙인 방형구에 출현한 모든 종을 동정하고 피도를 측정하였다. MD 방법은 2번 반복하였다. PL 방법을 위해, 50m 줄자를 이용하여 50m line transect을 설치한 후 매 0.5m 위치에 있는 식물 종의 이름을 기록하였다. PL 방법도 2번 반복하였다. 방형구 내 식물의 피도를 가능한 객관적으로 측정하기 위해 사전에 방형구 넓이의 1%, 5% 크기의 정사각형 투명틀을 만들어 피도 측정에 사용하였다. 방형구에 출현한 모든 식물 종의 피도는 1% 수준에서 측정하였으며, 현장에서 동정이 어려운 종은 샘플을 채집하여 실험실에서 도감을 이용하여 동정하였으며, 화서가 없는 벼과 식물이나 로제트 형태로 동정이 어려운 종은 종1, 2 등으로 임의의 이름을 붙여 구분하여 분석하였다.

2.3 데이터 분석

지역별로 조사 방법에 따른 식물군집의 종다양성을 계산하기 위해, Hill numbers를 계산하였다. Hill number 계산식은 아래와 같으며, 식에서 S는 군집의 종 수, q는 상대적

풍부도 혹은 우점도에 대한 민감함을 나타내는 지수이다 (Chao et al., 2014b).

$${}^qD = \left(\sum_{i=1}^S p_i^q \right)^{1/(1-q)}$$

Hill numbers는 기존의 종 풍부도(species richness), 샤

논 다양도-유효숫자(effective number of species-Shannon = $\exp(-\sum p_i \times \log(p_i))$), 심슨 다양도-유효숫자(effective number of species-Simpson = $1/\sum (p_i)^2$)를 포함하여 일반화한 것이며, 유효숫자는 단위가 다른 다양도지수 값을 종 수로 환산하여 통합한 값이다(Chao et al., 2014b). 계산한 다양도 값은 다양도 profile로 표현하였다. 각 다양도지수 값들 간의 통계적 유의성은, 조사방법을 fixed factor, 지역

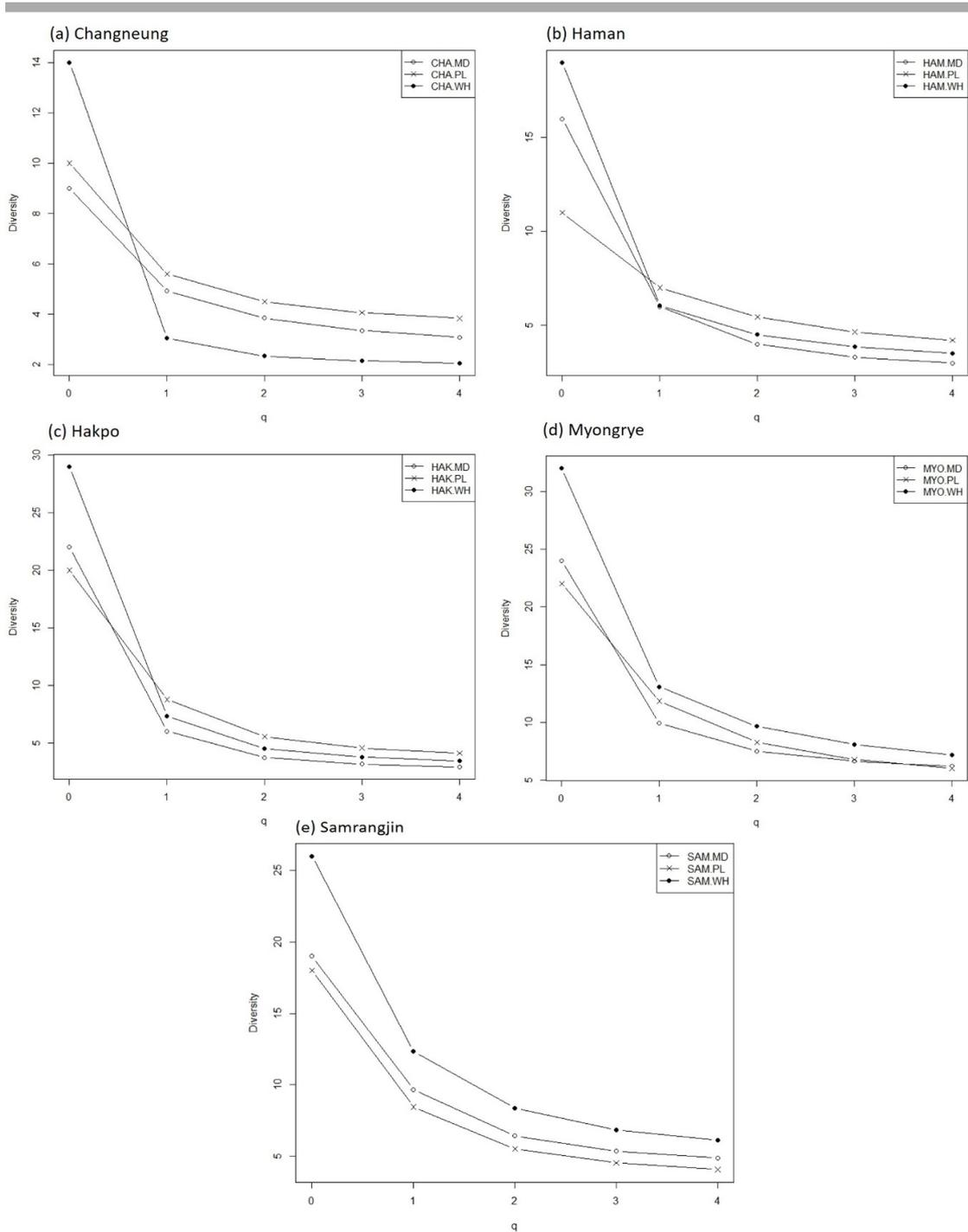


Fig. 2. Diversity profiles for plant communities in five locations (Changneung, Haman, Hakpo, Myongrye and Samrangjin), surveyed using three sampling methods, Modified Whittaker (WH), Modified Daubenmire (MD) and Modified Point-line intercept sampling (PL).

을 random factor로 하는 mixed effect model을 이용하여 검정하였다. 식생조사시 발견된 외래식물의 수의 차이도 같은 방법으로 분석하였다. 지역간 식물군집의 종다양성 양상을 파악하기 위해 Hill numbers를 이용하여 β 다양성을 측정하였고, 측정된 값을 이용하여 다양성 profile을 작성하였다. 모든 통계분석은 R4.2.1 (R core team, 2022)의 package adiv, nlme, vegan을 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

각 지역별로 WH, MD, PL 방법으로 식물군집을 조사하여 종다양성을 분석한 결과를 Fig.2에, 다섯지역 종풍부도, 샤논, 심슨 다양도-유효숫자의 평균값과 mixed effect modelling으로 통계분석한 조사 방법들 간 차이는 Fig.3에 나타났다. 종다양성지수를 중심으로 살펴보면, 종풍부도를 나타내는 $q=0$ 일 때의 값은 지역에 상관없이 모든 지역에서 WH 방법으로 조사하였을 때 가장 높은 반면, MD 방법과 PL 방법으로 조사한 값은 둘 간에 큰 차이가 없었다. 샤논, 심슨 다양도-유효숫자를 나타내는 $q=1, 2$ 의 값은, 모든 지역에서 세 개의 조사방법 간에 차이가 없었다(Fig.2, Fig.3).

다양도 profile은 그래프 모두 q 값이 증가함에 따라 다양성이 감소하는 경향을 나타내는데, 이는 세 가지 조사 방법 모두, 조사한 다섯 지역의 식물 군집이 다양한 종들이 균등하게 분포하기보다는 불균등한, 소수의 종이 우점하는 군집임을 나타낸다(Fig.2). q 값은 우점도에 민감한 정도를 나타내는 값으로 q 값이 클수록 우점한 종에 더 높은 가중치가 부여되어 개체수가 적은 소수의 종은 다양성 값에 거의 영향을 미치지 않고 우점한 종들만으로 다양성 값이 결정된다. 반면 q 값이 0에 접근할수록, 군집 내에 개체수가 적은 소수의 종도 우점하는 종과 비슷하거나 같은 가중치가 부여되어 다양성 값을 결정하는데 우점한 종들만큼 영향을 미치게 된다(Chao et al., 2014b; Daly et al., 2018; Moreno et al., 2018). 그에 따르면, 모든 지역에서 WH 방법으로 조사했을 때 더 많은 종이 발견되고 이 중에는 개

체수가 적은 종들이 포함되어 있어, MD나 PL 방법으로 조사했을 때보다 그래프 왼쪽 부분에서 더 높은 다양도를 보이는 것으로 생각할 수 있다.

한편, Fig.2는 다양도가 높은 값을 산출하는 조사 방법이 조사지역별로 다를 수 있음을 보여주고, 이는 조사지역 식물 군집 자체의 특성이 조사 방법에 따른 다양도 profile의 차이에 영향을 미칠 수 있음을 시사한다. 다양도 profile은 군집내 소수의 종들을 위주로 분석할 경우, WH 방법으로 조사한 값이 지역과 상관없이 전체적으로 다양도가 가장 높은 반면, 우점종 위주로 분석하는 경우, 창녕, 함안, 학포 지역에서는 PL 방법이 WH 방법이나 MD방법보다 다양도가 더 높은 값을 산출할 수 있음을 시사한다. 그러므로 연구의 목적이 군집의 주요 구성원에 초점을 맞추는 것인지 혹은 군집내 개체수가 적은 종들에 초점을 맞추는 것인지에 따라 조사 방법을 달리 하는 것이 더 나은 결과를 얻을 수도 있음을 추론할 수 있다. 본 연구에서 조사한 다섯지역에서 외래 식물들은 대부분 주요 우점종이 아니며 전체 피도 5%를 넘는 종도 거의 없다. 각 조사지역에서 발견된 자생 식물 및 외래 식물의 종 수는 WH 방법으로 조사한 경우가 MD 방법이나 PL 방법으로 조사한 경우보다 더 많았고 MD 방법이나 PL 방법으로 얻은 결과는 둘 사이에 큰 차이가 없었는데(Fig.3), 이는 앞의 추론과 일맥상통하는 결과이다.

앞에서 기술한 지역에 따른 결과의 차이, 즉 결과의 문맥 의존성(context-dependency)은 지역에 따라 식물 군집 자체의 특성, 특히 군집을 구성하는 각각의 종들의 개체들의 공간 분포 양상 및 그에 따른 군집 전체의 공간 분포의 균일성 등이 다를 수 있고 이러한 차이가 결과에 영향을 미칠 수 있음을 의미한다(McGill, 2010; McGlenn et al., 2018). 구체적으로 어떤 특성이 종다양성 분석 결과에 어떻게 영향을 미치게 되는지는 간단하지 않다. 가령, 종다양성 지수 중 하나인 종풍부도는 조사 지역에 서식하는 종의 수 및 상대적 풍부도, 같은 종에 속한 개체들의 공간적 분포에 따라 달라지며, 조사 방법으로 사용하는 방형구 내 개체의 수에

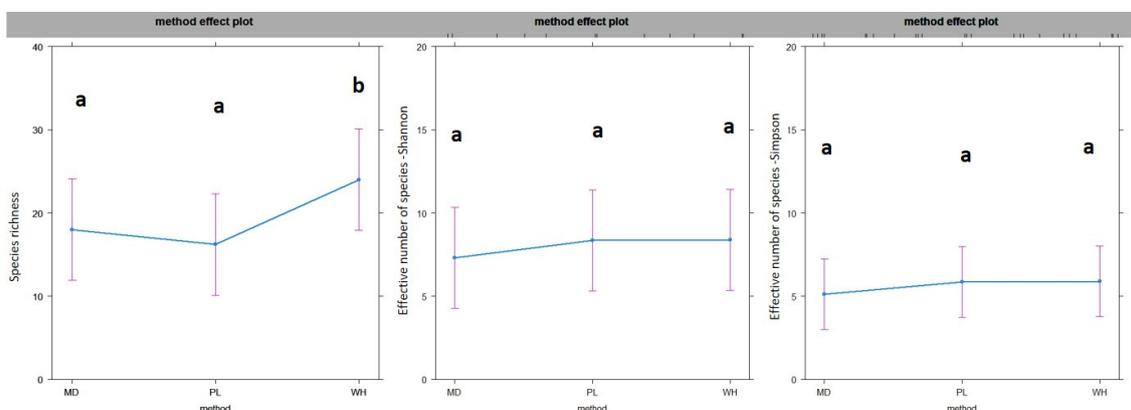


Fig. 3. Species richness, Effective numbers of species-Shannon, and Effective numbers of species-Simpson calculated using results from three sampling methods, Modified Whittaker (WH), Modified Daubenmire (MD) and Modified Point-line intercept sampling (PL).

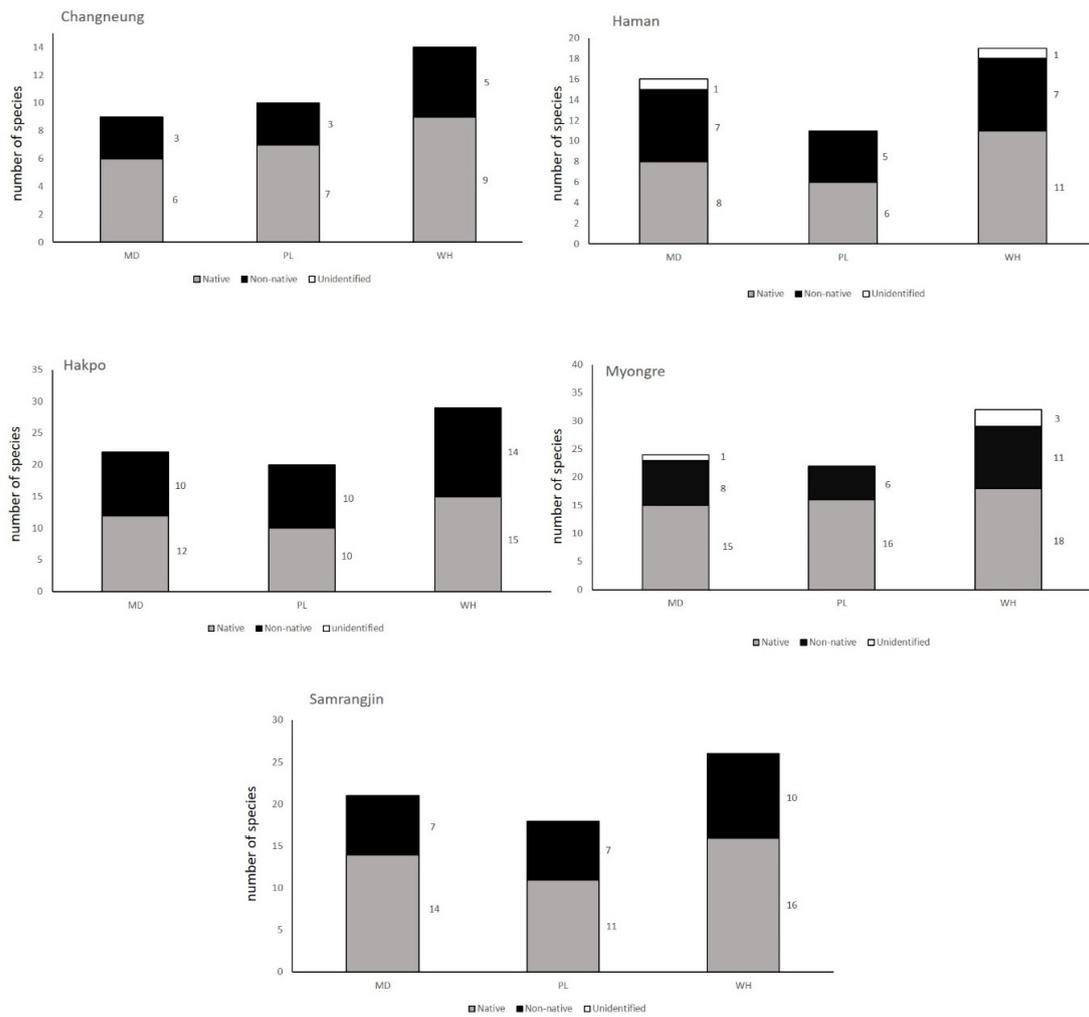


Fig. 4. Number of native, non-native and unidentified species detected in plant communities in five locations (Changneung, Haman, Hakpo, Myongrye and Samrangjin), surveyed using three sampling methods, Modified Whittaker (WH), Modified Daubenmire (MD) and Modified Point-line intercept sampling (PL).

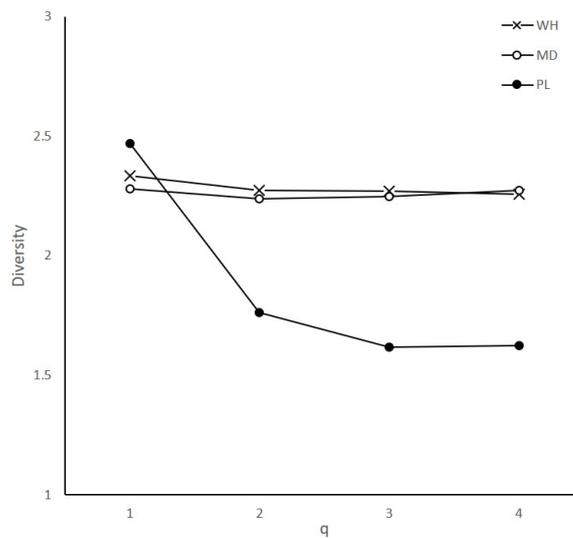


Fig. 5. Beta diversity profile for plant communities in five locations (Changneung, Haman, Hakpo, Myongrye and Samrangjin), calculated from results from three sampling methods, Modified Whittaker (WH), Modified Daubenmire (MD) and Modified Point-line intercept sampling (PL).

따라서도 달라질 수 있다(Chase and Knight, 2013).

식물군집내 개체들의 공간 분포 양상은 알 수 없지만 군집을 이루는 종들 면면과 그들의 상대적 풍부도는 지역간 종다양성 양상을 표현하는 β 다양성 값으로 추정 가능한데, 본 연구의 결과 조사 방법에 따라 얻은 β 다양성 경향에 차이가 있었다(Fig.5). 다양성 profile은 WH 방법과 MD 방법으로 조사한 경우 q 값에 상관없이 거의 일정한 값을 보이는데, 이는 조사한 다섯 지역의 식물군집이 군집을 구성하는 종들이 비슷하고 각 종들의 상대적 풍부도도 크게 다르지 않은, 전체적으로 유사한 구조를 하고 있음을 시사한다. 반면 PL 방법으로 조사한 경우, 다양성 profile이 q 값이 증가함에 따라 감소하고, 이는 조사한 다섯지역의 식물군집들이 동일한 종을 많이 공유하지는 않으나 공유하는 종들이 군집을 우점하는 종들임을 나타낸다(Halfpeter and ROS, 2013; Marion et al., 2021). 이러한 결과는, PL 방법이 적은 개체수로 산재해 있는 종을 누락하는 대신 우점하는 주요종 위주의 값을 산출하는 반면, WH 방법이나 MD 방법은 개체수가 적은 소수의 종도 어느정도 포함함으로써 생기는 차이로 생각된다.

본 연구에서 비교한 조사 방법들은 총 조사 면적이 다르다. 조사 면적의 크기에 비례하여 발견되는 종 수가 증가한다는 것은 종 수와 면적 간의 상관관계를 통해 잘 알려져 있으므로 이러한 차이가 조사 결과의 차이를 만드는 주요 원인일 수 있다. 또한 피도를 조사하는 방형구의 위치가 WH 법이 MD 법보다 더 넓게 펼쳐져 있어, 두 방법간 공간적인 자기상관(autocorrelation) 정도에 차이가 있을 수 있다. 본 연구는 이러한 차이를 줄이려 노력하기보다 차이 자체를 방법이 가진 특징으로 간주하고 결과를 분석하고자 하였다.

4. 결 론

종다양성은 중요한 개념이고 다양하게 활용되지만 그 자체로 복잡한 개념이고 점점 더 복잡해지고 있다. 가령, 근래의 종들의 계통학적 지식이 증가하고 생태계의 기능과 생물종의 형질간의 관계에 대한 이해가 증가함에 따라 종다양성에 종들의 계통학적 유사함의 정도를 종다양도에 반영하거나 생태적 기능의 유사함을 반영하려는 시도가 증가하고 있다(Chao et al., 2014a). 이러한 개념의 확장 및 변화를 더 잘 반영할 수 있는 조사 방법은 이전과는 다를 수 있으며, 그런 의미에서 방법론적 확인은 필요하고 가치 있는 일이다.

사 사

이 논문은 2020년도 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2020R1F1A10720561361382116530103)

References

- Abrahamson, IL, Nelson, CR and Affleck, DLR (2011), Assessing the performance of sampling designs for measuring the abundance of under story plants, *Ecological Applications*, 21, pp. 452-464. [DOI: 10.1890/09-2296.1]
- Chao, A, Chiu, CH and Jost, L (2014a), Unifying species diversity, phylogenetic diversity, functional diversity, and related similarity and differentiation measures through Hill numbers, *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 45, pp. 297-324. [DOI: 10.1146/annurev-ecosys-120213-091540]
- Chao, A, Nicholas, JG, Hsie, TC, Sander, EL, Corwell, RK and Ellison, AM (2014b), Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: a framework for sampling and estimation in species diversity studies, *Ecological Monographs*, 84(1), pp. 45-67. [DOI: 10.1890/13-0133.1]
- Chase, JM and Knight, TM (2013), Scale-dependent effect sizes of ecological drivers on biodiversity: Why standardised sampling is not enough, *Ecology Letters*, 16, pp. 17-26. [DOI: 10.1111/ele.12112].
- Cox, KD, Black, MJ, Filip, N, Miller, MR, Mohns, K, Mortimor, J, Freitas, TR, Loerzer, RG, Gerwig, TG, Juanes, F and Dudas, SE (2017), Community assessment techniques and the implications for rarefaction and extrapolation with Hill numbers, *Ecology and Evolution*, 7, pp.11213-11226. [DOI: 10.1002/ece3.2611]
- Daly, AJ, Baetens, JM and De Baets, B (2018), Ecological Diversity: Measuring the unmeasurable, *Mathematics*, 6, 119. [DOI: 10.3390/math6070119]
- De Stenano, A, Fowers, B and Meador, BA (2021), Comparison of visual estimation and line-point intercept vegetation survey methods on annual grass-invaded rangelands of Wyoming, *Invasive Plant Science and Management*, 14, pp. 240-252. [DOI: 10.1017/inp.2021.36]
- Fagua, JC, Jantz, P, Burns, P, Massey, R, Butrago, JY, Saatchi, S, Hakkenberg, C and Goetz, SJ (2021), Mapping tree diversity in the tropical region of Choco-Colombia, *Environmental Research Letters*, 16, 05424. [DOI: 10.1088/1748-9326/abf58a]
- Godinez-Alvarez, H, Herrick, JE, Mattocks, M, Toledo, D and Van Zee, J (2009), Comparison of three vegetation monitoring methods: Their relative utility for ecological assessment and monitoring, *Ecological Indicators*, 9, pp. 1001-1008. [DOI: 10.1016/j.ecolind.2008.11.011]
- Halfpeter, G and Ros, M (2013), A strategy for

- measuring biodiversity, *Acta Zoologica Mexicana* (n.s.), 29(2), pp. 400–411. [DOI: 10.21829/AZM.2013.2921117]
- Hulvey, KB, Thomas, K and Thacker, E (2018), A comparison of two herbaceous cover sampling methods to assess ecosystem services in High-shrub rangelands: Photography-based grid point intercept versus quadrat sampling, *Rangelands*, 40, pp. 152–159. [DOI: 10.1016/j.rala.2018.08.004]
- Iknayan, KJ, Tingley, MW, Furnas, BJ and Beissinger, SR (2014), Detecting diversity: emerging methods to estimate species diversity, *Trends in Ecology & Evolution*, 29., pp. 97–106. [DOI: 10.1016/j.tree.2014.05.004]
- Korb, JE, Covington, WW and Fule, PZ (2003), Sampling techniques influence understory plant trajectories after restoration: an example from ponderosa pine restoration, *Restoration Ecology*, 11, pp. 504–515. [DOI: 10.1046/j.1526-100X.2003.rec0170.x]
- Lee, S, Lee, K and Jeong, J (2014), The vegetation analysis of Northern region at Jungnang riverside, *Journal of Environmental Impact Assessment*, 23, pp. 315–322. [DOI: 10.14249/eia.2014.23.4.315]
- Lee, SY, Jang, RH, Han, YS, Jung, Lee, SI, Lee, EP and You, YH (2018), Health Condition Assessment Using the Riparian Vegetation Index and Vegetation Analysis of Geumgang mainstream and Mihocheon, *Korean Journal of Environment and Ecology*, 32, pp. 105–117. [DOI: 10.13047/KJEE.2018.32.1.105]
- Marion, ZH, Orwin, KH, Wood, JR, Holdaway, RJ and Dickie, IA (2021), Land use, but not distance, drives fungal beta diversity, *Ecology*, 102, pp. e03487. [DOI: 10.1002/ecy.3487]
- McGlenn, DJ, Xiao, X, May, F, Gotelli, NJ, Engel, T, Blowes, SA, Knight, TM, Purschke, O, Chase, JM and McGill, BJ (2018), Measurement of Biodiversity(MoB): A method to separate the scale-dependent effects of species abundance distribution, density, and aggregation on diversity change, *Methods in Ecology and Evolution*, 10, pp. 258–269. [DOI: 10.1111/2041-210X.13102]
- McGill, BJ (2010), Towards a unification of unified theories of biodiversity, *Ecology Letters*, 13, pp. 627–642. [DOI: 10.1111/j.1461-0248.2010.01449.x]
- Moreno, CE, Calderon-Patron, JM, Martin-Regalado, N, Martinez-Falcon, AP, Ortega-Martinez, IJ, Rios-Diaz, CL and Rosas, F (2018), Measuring species diversity in the tropics: a review of methodological approaches and framework for future studies, *Biotropica*, 50, pp. 929–941. [DOI: 10.1111/btp.12607]
- Pilliod, D and Arkle, RS (2013), Performance of quantitative vegetation sampling methods across gradients of cover in Great Basin plant communities, *Rangeland Ecology and Management*, 66, pp.634–647. [DOI: 10.2111/REM-D-13-00063.1]
- Pavoine, S (2020), adiv: AN R package to analyse biodiversity in ecology, *Methods in Ecology and Evolution*, 11, pp. 1106–1112. [DOI: 10.1111/2041-210X.13430]
- R Core Team (2022), R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R foundation for Statistical Computing. Retrieved from <https://www.R-project.org>
- Roswell, M, Dushoff, J and Winfree, R (2021), A conceptual guide to measuring species diversity, *Oikos*, 130, pp. 321–338. [DOI: 10.1111/oik.07202]
- Stohlgren, TJ, Falkner, MB and Schell, LD, (1995), A modified-Whittaker nested vegetation sampling method, *Vegetatio*, 117, pp. 113–121. [DOI: 10.1007/BF00045503]
- Stohlgren, TJ, Bull, KA and Otsuki, Y (1998), Comparison of rangeland vegetation sampling techniques in the Central Grasslands, *Journal of Rangeland Management*, 51, pp. 164–172. [DOI: 10.2307/4003202]