

研究報告

惠蓀林場闊葉天然林與杉木人工林對太陽輻射 保溫能力的比較

陳信佑¹ 許博行^{2*}

【摘要】森林林分內具保溫現象，太陽輻射下降後，冠層內可持續一段時間保有一定的溫度，此種保溫現象隨林分的結構而不同，以本調查而言，闊葉天然林較杉木（*Cunninghamia lanceolata*）人工林保溫效果大，此與林分之LAI與相對光度有關。二林分夜晚的積溫與CO₂濃度均有顯著的相關，夏天積溫高，CO₂濃度也顯著高於冬天的1月。也因冠層內的保溫現象，使CO₂濃度在冠層內顯著高於林分外的開闊地。

【關鍵詞】闊葉天然林、杉木人工林、林分保溫、二氧化碳濃度

Research paper

The comparison of the temperature retain ability in nature hardwoods and Chair-fir plantation in Huisun Forest Experimental Station

Shin-You Chen,¹ Bor-Hung Sheu,^{2*}

【Abstract】Forest stands have temperature retain abilities after sunlight radiation going down, those abilities are strong correlation with forest structure. In this investigation, the nature hardwood stand has a higher ability than Chain-fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantation. It is because the LAI and relative light intensity in stands of hardwoods are higher than that of fir plantation. There is a significant correlation between cumulative temperature and CO₂ concentration in night time (18:00~06:00). In summer time of July has a higher cumulative temperature and has higher CO₂ concentration than winter time of January. The CO₂ concentrations in stand canopies of these two forests are higher than open air of outside stand. These phenomena indicated that there has an ability to retain temperature in forest canopy.

1. 嘉義林區管理處

Chiayi Forest District, Chiayi, Taiwan

2. 國立中興大學森林學系

Department of Forestry, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan

* 通訊作者，402台中市南區國光路250號

Corresponding author, 250 Kou Kung Road, Taichung 402, Taiwan.

e-mail: bsheu@nchu.edu.tw

【Key words】 nature hardwoods, Chain-fir (*Cunninghamia lanceolata*) plantation, forest stand temperature retain abilities, CO₂ concentration

一、前言

太陽輻射是地球溫度的主要來源，而地球的生物也因此輻射能，才得賴以生存，且自然界的色彩與氣候變化等等，均受到太陽輻射直接或間接的影響。森林中生物的生長當然也受到太陽輻射的影響，森林接受太陽能輻射熱，此輻射能是林木固定二氧化碳轉換成有機物的主要來源，而不同森林的林木組成，對輻射熱的保留會有所不同 (Chen *et al.*, 1999, Baldocchi *et al.*, 2000)。本篇主要是在中興大學惠蓀林場相鄰的二個林分，其一為天然闊葉林，另一為杉木人工林，比較在不同葉面積指數與不同相對光度下，二林分在接受太陽輻射後，林分內溫度的變化及日照下降後輻射熱持續的時間。

二、試驗地點與監測

試驗地位於惠蓀林場水源地附近，海拔約1100 m。其中天然闊葉林林樣區位水源地上方，每公頃約1980株 (王志仁, 2003)，其優勢木包括台灣山龍眼 (*Helicia formosana*)、豬腳楠 (*Machilus thunbergii*)、台灣黃杞 (*Engelhardtia roxburghiana*) 等。而杉木人工林緊鄰天然闊葉林，於1964年栽植，每公頃約1220株 (陳信佑等, 2010)。

環境因子監測，包含輻射量及溫度等，一天24時不間斷。輻射量是以日照計 (sunshine sensor, BF2, Delta-T, Device Limited, Cambridge, UK) 偵測，採樣間隔為1 min，每10 mins自動平均1次 (陳信佑, 2005)。溫度是於天然闊葉林及人工杉木林內，分別選擇一棵樣木設置溫濕度自動記錄器 (RH/temperature logger, HOBO H8 Pro, Onset)，架設點距地表1.2~1.5

m，記錄器每10 mins記錄一筆，再定期以筆記型電腦讀取資料 (陳信佑, 2005)。相對光度則於同一時間二林分別於林分內外以光度計偵測40點平均之。

CO₂濃度則引用陳信佑 (2005) 資料，二林分冠層內及林分外均選擇距地表12 m處的濃度討論之。

葉面積指數 (leaf area index, LAI)、葉片平均傾斜角度 (Mean Leaf Angle) 與散輻射光穿透係數 (Transmission Coefficient for Diffuse Penetration) 是於2005/6以林分冠層分析儀 (CI-110 Plant Canopy Analyzer, CID Bio-Science, USA) 於二林分偵測，各測22點平均之。然因CI-110葉面積指數測定儀所檢測之樹種為針葉樹非闊葉樹，闊葉樹林之葉面積指數應依“實際葉面積指數 = 0.9171 x (拍攝值)^{1.3777}”修正之 (莊凱順, 2002)，杉木林人工林則以實測值紀錄之。

三、結果與討論

1. 林分的環境狀況參數

葉面積指數 (leaf area index, LAI)、葉片平均傾斜角度、散輻射光穿透係數與相對光度如表1所示，闊葉天然林LAI係已修正之值。葉片平均傾斜角度、散輻射光穿透係數與相對光度均以闊葉天然林低於杉木人工林，顯示闊葉天然林較為鬱閉，林分越鬱閉，當然相對光度即越低 (Aussenac, 2000)。不同林型之透光量約為0.5~5%不等 (Chazdon and Percy, 1991)，在林分內，光量穿透樹冠層到達地表的光度均低於光合作用有效光度 (photosynthetically active radiation, PAR) (Dang, 1997)。

表1. 二林分的狀況參數

Table 1. The conditions of two stands

	葉面積指數 (LAI)	葉片平均傾斜角度	散輻射光穿透係數	相對光度 (%)
闊葉天然林	1.68±0.18	38.12±16.53	0.26±0.05	1.29±1.41
杉木人工林	1.10±0.15	53.01±19.60	0.41±0.05	2.38±2.52

2. 輻射量與溫度的關係

現場採樣的光量是以400~700 nm之PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) 記錄 (包含散射光), 在此波長範圍內每單位輻射能 (W/m^2) 為4.45 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PPFD (姚銘輝, 2011), 將記錄所得之PPFD轉換為輻射能 (Lighting Radiation Conversion, 2016)。

為比較不同月分輻射強度影響不同林分的溫度的關係, 分別選擇1、4、7及10月陽光充足的日數, 繪製日平均輻射能及對應天數的日平均溫度變化, 結果如圖1所示, 圖中顯示陽光出來後, 溫度緊接著上升, 而溫度上升的幅度以7月最高, 1月最低, 而4月又高於10月。中午過後, 日照開始下降, 但二林分的溫度並未隨即下降, 大約延遲1~2小時才開始下降, 其中以杉木林較快下降, 此現象與北美短葉松 (*Pinus banksiana*) 及西部黃松 (*Pinus ponderosa*) 等的針葉林相同 (Baldocchi *et al.*, 2000)。而下降的速度也以7月較快 (表2), 二林分在下午14~20時間, 經回歸分析後, 每小時分別下降0.47°C (闊葉林) 及0.68°C (杉木林); 而1月較慢, 分別為0.28及0.36°C, 顯然夏季散熱較快, 而針葉林又較闊葉林為速, 此散熱速率與林分開闊度相關, 例如在美國西部華盛頓州70年生花旗松林, 比較原林分與不同砍伐強度的林分, 接受日照後, 不同林分均可保持溫度一段時間, 而中午過後則以皆伐林分散溫較原林分快 (Chen *et al.*, 1999)。台灣檫樹 (*Sassafras randaiense*) 的疏伐林分亦有相同的現象 (楊蒼叡、許博行, 2010), 顯然較開闊的林分雖可保有較高的輻射能, 但也較

易散失輻射熱。如比較惠蓀林場氣象站 (開闊地) 2016/6陽光普照下, 下午2時過後, 每小時溫度下降可達1.53°C (惠蓀林場氣象紀錄), 此現象顯示森林的確會延遲溫度的下降速率, 而此延遲下降的現象也使得冠層內可保留溫度一段時間。

無論何月份, 杉木人工林整天溫度均高於闊葉天然林 (圖1), 比較低溫的1月與高溫的7月, 二林分的溫差在白天溫度越高時, 溫差越大, 夜晚則差異較小, 而以7月差異較大, 1月較小 (表2)。在中午時, 冬天的1月二林分差異為1.40~1.43°C, 但夏天的7月可達3.21~3.41°C, 然而在夜晚時間, 二林分間的溫差則較小。夏季7日中午最高溫出現在12:00, 闊葉林為22.40±0.57°C, 杉木林為25.31±0.98°C, 相差2.91°C。最低溫出現在清晨05:00, 闊葉林為17.31±0.43°C, 杉木林為18.13±0.46°C。冬季1月時, 中午最高溫出現在13:00, 闊葉林為12.88±0.67°C, 杉木林為13.92±0.74°C, 相差僅0.32°C。美國東南部不同橡木 (*Quercus* spp.) 林分間溫度均有顯著差異, 其差異在6月夏季時為0.7~1.6°C, 此差異也顯現出林分生態體系的不同 (Xu and Brookshire, 1997)。最低溫出現在清晨06:00, 闊葉林為9.41±0.66°C, 杉木林為10.05±0.58°C。林分內日夜溫差以杉木人工林較高, 尤其是7月差異甚顯著。除特殊環境外, 自然狀態下, 日夜溫差約為5~10°C (Munns *et al.*, 2016), 本試驗的二處林分, 夏季溫差在闊葉林為5.09°C, 而杉木林達7.18°C, 但冬季的1月溫差較小, 二者分別為3.47及3.87°C。

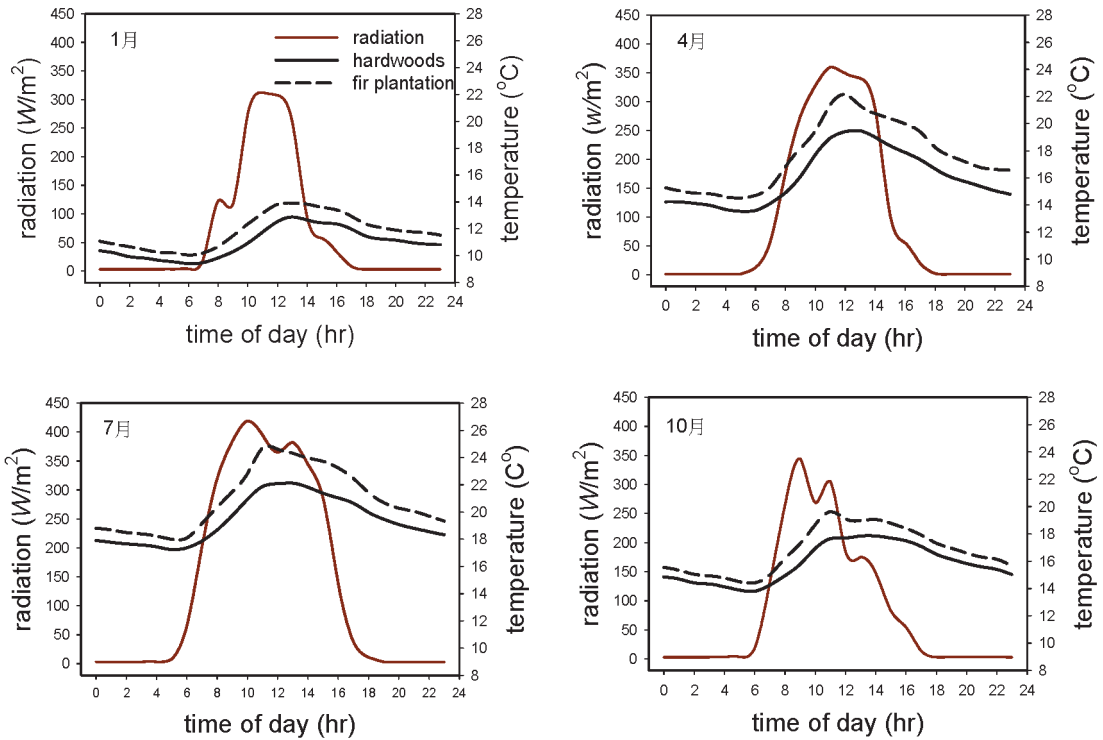


圖1. 二林分不同月分林分外的日平均輻射量與林分內日平均溫度的變化

Fig.1. Mean daily radiations of outside stand and the temperatures of inside canopy of two stands in different months

表2. 二林分1月與7月之最高與最低溫及高低溫差 (°C)

Table 2. The highest and lowest temperature of Jan. and Jul. in two stands

		高溫	低溫	高低溫差	14:00 ~20:00 散熱速率 (°C/hr)
出現時間		13:00	06:00		
1月	闊葉林天然林	12.88 ± 0.67	9.41 ± 0.66	3.47	0.28
	杉木人工林	13.92 ± 0.74	10.05 ± 0.58	3.87	0.36
出現時間		12:00	05:00		
7月	闊葉林天然林	22.40 ± 0.57	17.31 ± 0.43	5.09	0.47
	杉木人工林	25.31 ± 0.98	18.13 ± 0.46	7.18	0.68

輻射能是熱量的主要來源，此熱量受太陽高度，即陽光直射與斜射的變化（季節）所影響。不同月分間之總日輻射能差異甚大，以7月最高而1月最低（表3）。而此高低的輻射能也顯現在日積溫（Cumulative Temperature）上，比較不同林分在不同月分的平均日積溫，月分的積溫變化如同輻射能，且日積溫與日輻射能間經 t -test後，二林分之 t -value分別為5.34***及5.28***，顯現極顯著的相關。冬季的1月總日輻射能最低，二林分的平均日積溫亦最低，而夏季7月的輻射能最高，平均日積溫亦最高，高約1月的二倍。杉木人工林的平均日積溫，不論在何月分均高於天然闊葉林，且二林分平均日積溫的配對 t -test呈顯著差異，

表示杉木人工林的平均日積溫均顯著高於闊葉天然林。如以全年的平均日積溫與二林分之相對光度比較，經 t -test後， $t = 35.77***$ ，達極顯著水準，顯然林分積溫受冠層內相對光度的影響。而此積溫現象除會影響林木的生理作用外（Monson *et al.*, 2006），對林分的組成與演替亦會有所影響（Pomaro *et al.*, 2013）。現場觀察二林分的地被植物，杉木人工林主要為蕨類與其他偏陽性的樹種，如柏拉木（*Blastus cochinchinensis*）等，而與闊葉天然林緊鄰的闊葉次生林，地被植物以變葉新木薑子（*Neolitsea vaniabillima*）等耐陰性樹種為主（朱珮綺、許博行，2005）。

表3. 不同林分不同月分的平均日積溫（每隔1小時的合計）

Table 3. Mean accumulation temperature of two stands in different months

月分	總日輻射能 (W/m^2)	平均日積溫 (°C)		二林分平均日積溫的配對 t -test (paired t - test)
		闊葉天然林	杉木人工林	
1月	1653.61 ± 216.92	262.60 ± 16.91	284.31 ± 16.17	
4月	2462.38 ± 384.42	384.23 ± 47.00	389.49 ± 61.65	
7月	3387.90 ± 519.98	465.32 ± 13.71	500.93 ± 15.47	$t = 3.4282**$
10月	2026.02 ± 328.03	379.80 ± 17.48	402.51 ± 19.49	
日積溫與日輻射能之 t -test		$t = 5.34***$	$t = 5.28***$	
平均	2382.48 ± 747.34	372.99 ± 83.43	394.31 ± 88.62	$t = 35.77***$
	相對光度(%)	1.29 ± 1.41	2.38 ± 2.52	

3. 夜間林分冠層的保溫與CO₂濃度的關係

夜間（18：00~06：00）的積溫（以每隔小時累計）在不同月分與不同林分的差異如表4所示，二林分均以7月最高而1月最低，而杉木人工林又高於闊葉天然林。在夜晚時，因不受光合作用的影響，CO₂濃度完全受呼吸作用

的大小所影響，而呼吸作用極受溫度的影響，因而與積溫有顯著的相關。二林分不同月分間與積溫分別經 t -test後， t 值為8.84及7.80，均達極顯著相關，積溫越高的月分，CO₂濃度越高，這也顯示冠層的保溫，增加了林分的呼吸作用（Will, 2000）。

表4. 夜間 (18:00 ~ 06:00) 的積溫 (°C) 與CO₂濃度 (ppm) 的關係Table 4. The relations between temperature accumulation and CO₂ concentration in night time

		1月	4月	7月	10月	t - test
闊葉林	積溫	135.41±0.71	191.00±1.02	238.62±0.88	194.57±0.87	t = 8.84***
	CO ₂ 濃度	377.64±1.46	382.87±2.90	381.97±4.97	371.10±3.62	
人工林	積溫	144.88±0.79	206.78±1.30	251.95±1.04	203.51±0.94	t = 7.80***
	CO ₂ 濃度	381.29±4.13	376.76±2.23	386.17±4.97	364.01±2.05	

CO₂濃度在二林分冠層內與林分外下午過後的變化如圖2所示，冬天1月14：00時後，輻射能雖然尚維持一段時間，但CO₂濃度已開始增加，顯然此時淨光合作用已開始下降，呼吸作用釋放的CO₂使冠層內濃度提升，尤其是闊葉天然林更為顯著，其CO₂濃度直到19：00過後才趨於緩和，但林分外的開闊地，CO₂濃度雖然16：00過後也有增加，但在闊葉天然林18：00即下降後再趨於平緩；杉木人工林冠層內與林分外變化趨於一致，但乃以冠層內變化較顯著。而夏天的7月，闊葉天然林14:00過後直到16：00，雖然光度持續下降，但光合作用尚高過於呼吸作用，因此CO₂濃度是下降的，此或許是林分內葉片的受光情形如同斑光 (sun flecks) 現象，具延續低光照效應 (post-lower-illumination) 的固碳能力 (Percy, 1990)。17：00過後因冠層內的保溫現象，呼吸作用持續上升，CO₂濃度也持續增加。但林分外即因沒有斑光現象，14：00過後，CO₂濃度即開始上升，然19:00過後，因在林分外開闊地，沒有保溫情形，CO₂濃度不再增加，而趨於平緩。而杉木人工林冠層內，14：00至17：00間如同闊葉天然林般具斑光現象，CO₂濃度也是下降，隨後即上升，但上升速率不如闊葉天然林，此或許是保溫現象 (表2) 及LAI (表1) 均低於闊葉天然林的關係。

四、參考文獻

- 王志仁 (2003) 關刀溪不同林分二氧化碳濃度之變化。國立中興大學森林系所碩士論文。
- 朱珮綺、許博行 (2005) 次生林下小苗對光能的利用與耐陰性之探討。林業研究季刊 27, 23-34
- 姚銘輝 (2011) 光度單位轉換問題之探討 農業試驗所技術服務22(1), 26-29.
- 莊凱順 (2002) 葉面積指數之矯正研究 國立屏東科技大學森林系實務專題報告。
- 陳信佑 (2005) 天然林與杉木林不同冠層高度二氧化碳濃度的時間變化。國立中興大學森林系所碩士論文。
- 楊蒼叡、許博行 (2010) 台灣檫樹 (*Sassafras randaiense*) 林分林床種苗萌發之研究。林業研究季刊 32(1), 39-50.
- Baldocchi, D. D., Law, B. E., & Anthoni, P. M. (2000). On measuring and modeling energy fluxes above the floor of a homogeneous and heterogeneous conifer forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 102(2), 187-206.
- Chazdon, R. L., & Percy, R. W. (1991). The importance of sunflecks for forest understory plants. *Bioscience*, 41(11) 760-766.
- Chen, J., Saunders, S. C., Crow, T. R., Naiman, R. J., Brosofske, K. D., Mroz, G. D., ... & Franklin, J. F. (1999). Microclimate in forest

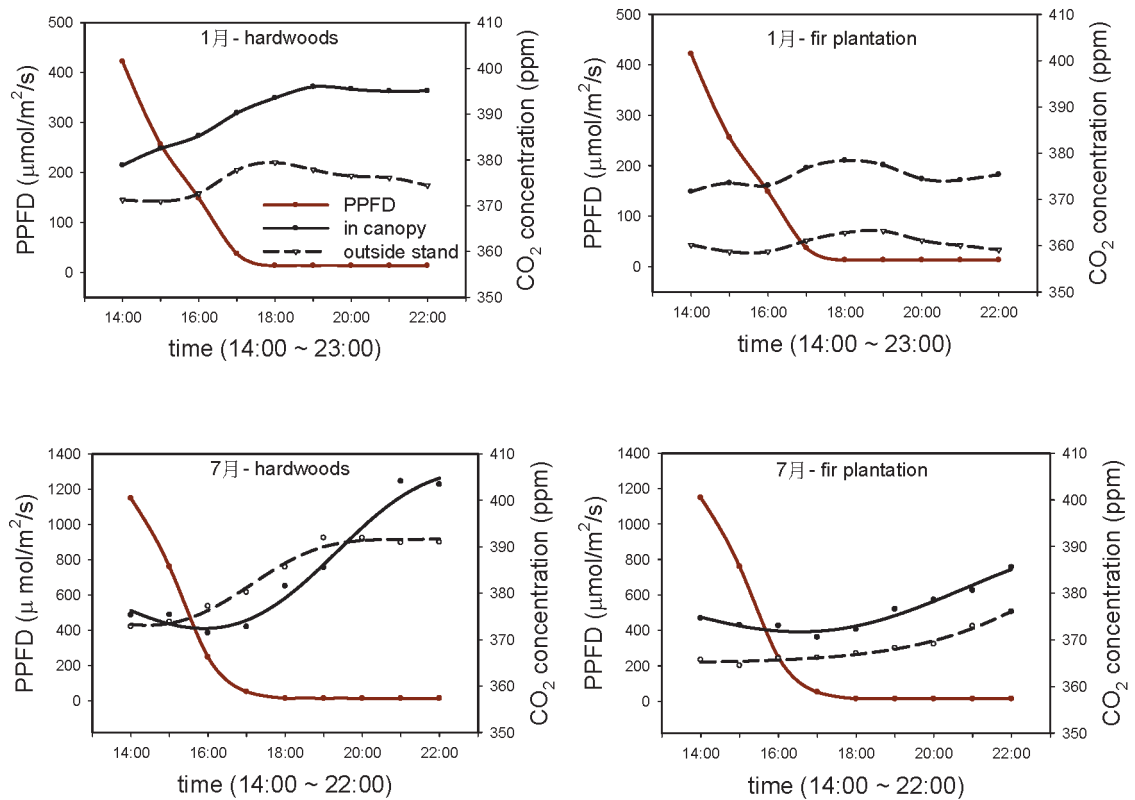


圖2. 1月與7月14:00~22:00光合作用有效輻射能 (PPFD) 與二林分冠層內及林分外 CO_2 濃度變化
 Fig.2. The variations of photosynthetic photon flux density (PPFD) during 14:00 to 22:00 in Jan. and Jul. and CO_2 concentrations in outside and inside canopy of two stands

ecosystem and landscape ecology variations in local climate can be used to monitor and compare the effects of different management regimes. *BioScience*, 49(4), 288-297.

Dang, Q. L., Margolis, H. A., Sy, M., Coyea, M. R., Collatz, G. J., & Walthall, C. L. (1997). Profiles of photosynthetically active radiation, nitrogen and photosynthetic capacity in the boreal forest: Implications for scaling from leaf to canopy. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 102(D24), 28845-28859.

Lighting Radiation Conversion (2016) Environmental Growth Chambers, USA

Monson, R. K., Lipson, D. L., Burns, S. P., Turnipseed, A. A., Delany, A. C., Williams, M. W., & Schmidt, S. K. (2006). Winter forest soil respiration controlled by climate and microbial community composition. *Nature*, 439(7077), 711-714.

Munns, R., Schmidt, S., & Beveridge C.(2016) Plants in Action, Australian Society of Plant Scientists, New Zealand Society of Plant Biologists, and New Zealand Institute of Agricultural and Horticultural Science 2010–2016

Pearcy, R.W. (1990) Sunflecks and photosynthesis in plant canopies. *Annual Review of Plant*

- Physiology and Plant Molecular Biology*, 41: 421-453.
- Pornaro, C., Schneider, M. K., & Macolino, S. (2013). Plant species loss due to forest succession in Alpine pastures depends on site conditions and observation scale. *Biological conservation*, 161, 213-222.
- Will, R. (2000). Effect of different daytime and night-time temperature regimes on the foliar respiration of *Pinus taeda*: predicting the effect of variable temperature on acclimation. *Journal of Experimental Botany*, 51(351), 1733-1739.
- Xu, M., Chen, J., & Brookshire, B. L. (1997). Temperature and its variability in oak forests in the southeastern Missouri Ozarks. *Climate Research*, 8(3), 209-223.