A New Fast Method to Assess Urban Trees' Growth Sensitivity in Response to Habitat Stress

—— A Case Study of Urban Trees under Drought Stress in Saxony, Germany

Ming Liu, Ulrich Pietzarka, Britt Kniesel, Matthias Meyer, Andreas Roloff

Institute of Forest Botany and Forest Zoology, TU Dresden, Pienner Str. 7, 01737 Tharandt, Germany

3rd March 2022
TU Dresden

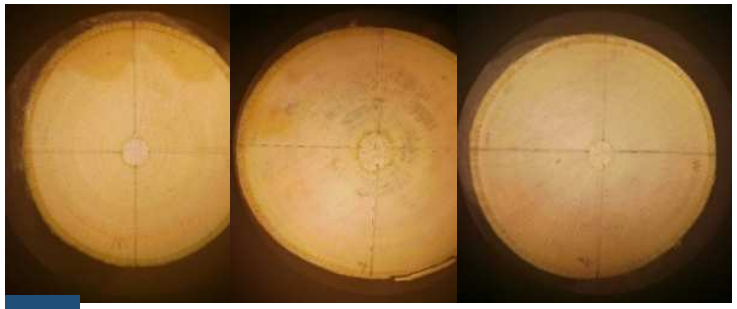
Outline

- Tree vitality assessment
- Drought impact in Central Europe
- Annual shoot length measurement
- Our findings and conclusion

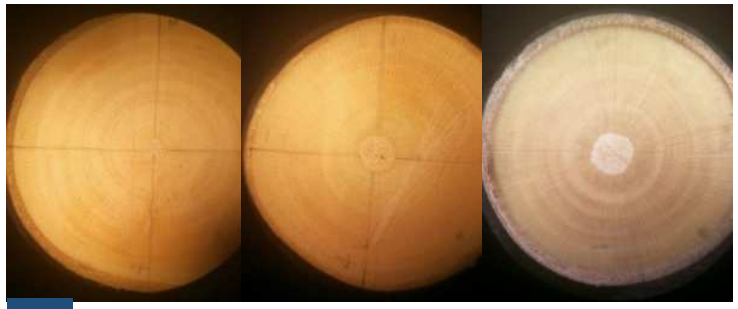
Tree vitality assessment

From the perspective of tree form, assessment methods, such as **visual vitality index**, **crown transparency**, and **crown morphology**, were explored as predictors of tree growth rate...

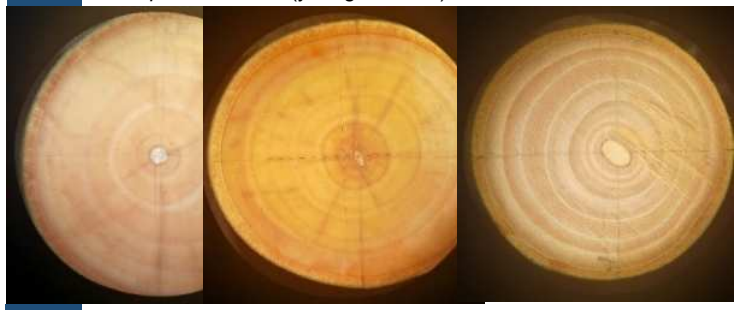
Secondary growth: tree ring



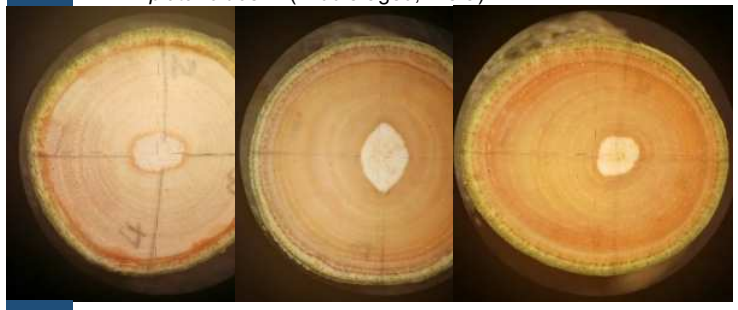
01 *A. platanoides* L. (young, Kreinitz)



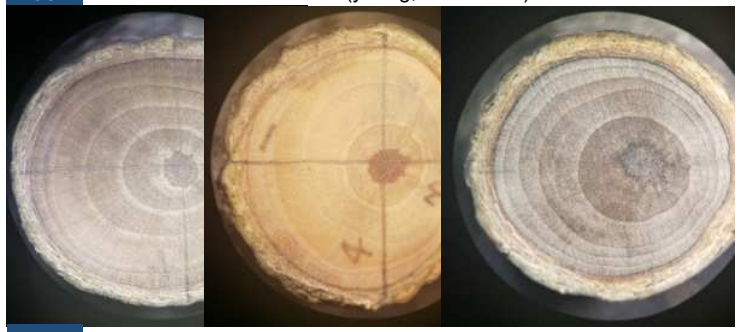
02 *A. platanoides* L. (middle-aged, Diera)



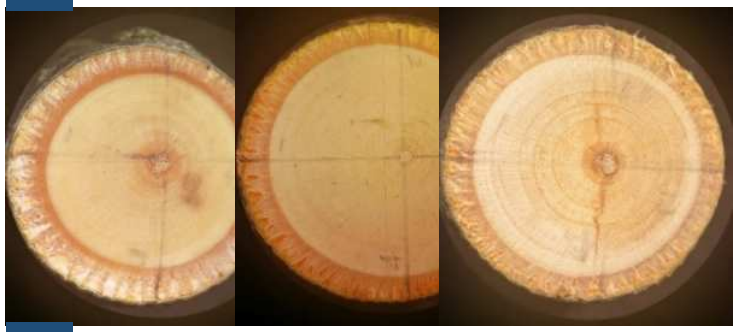
03 *Fraxinus excelsior* L. (young, Grumbach)



04 *F. excelsior* L. (middle-aged, Golk)



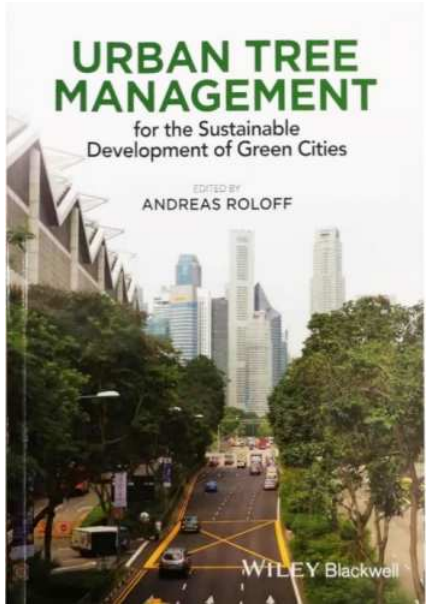
05 *Pyrus communis* L. (middle-aged, Merschwitz)



06 *Tilia cordata* Mill. (middle-aged, Goltzscha)

For tree growth rate assessment, many previous studies focused on examining tree species' stem radial growth to indicate their responses and resistance to drought stress by using an index of **tree ring increment**, such as earlywood/latewood ratio, intra-annual density fluctuations, and traumatic tissues as well as the sapwood/heartwood ratio.

Primary Growth: Shoot Growth 树梢生长



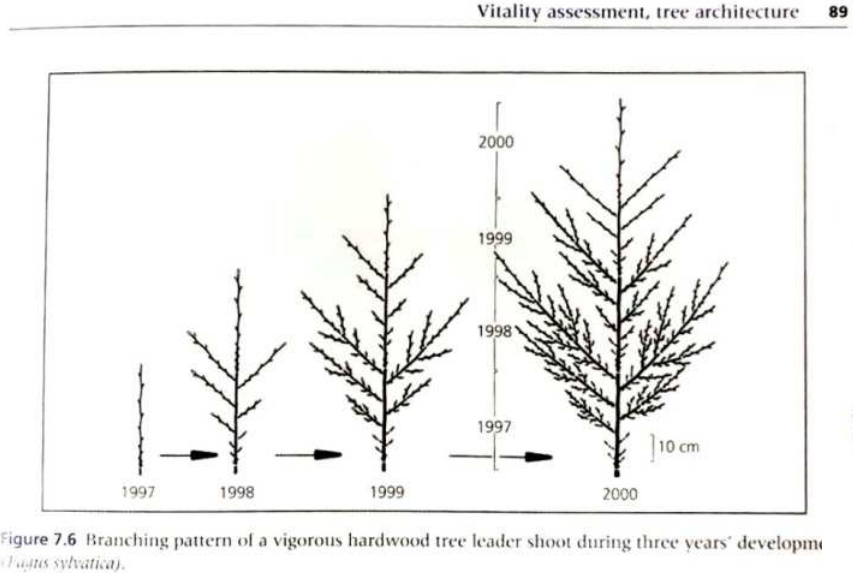
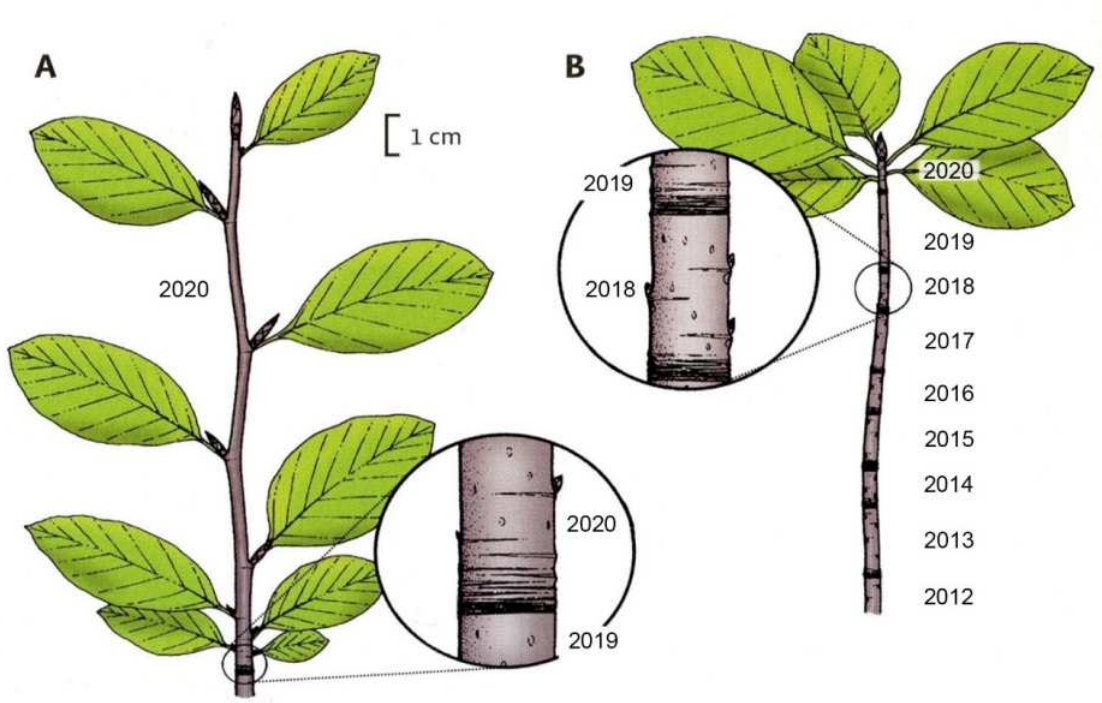


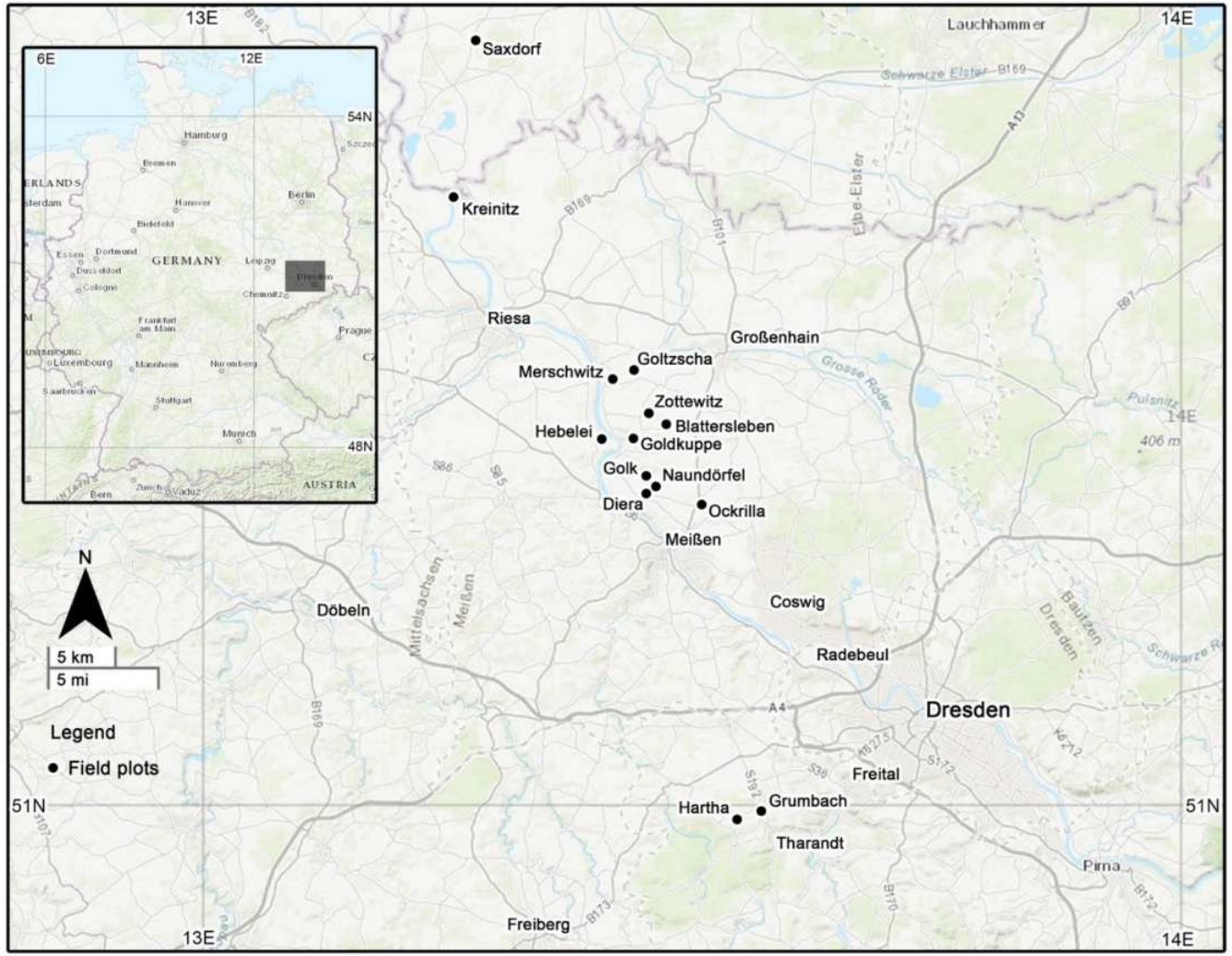
Figure 7.6 Branching pattern of a vigorous hardwood tree leader shoot during three years' developme
(*Fagus sylvatica*).



Roloff, A. Urban tree management: for the sustainable development of green cities. John Wiley & Sons, 2016.

Hong Kong 2022
International Urban Forestry Conference

Study area


13E
14E
51N
6E
12E
54N
48N
Saxdorf
Lauchhammer
Kreinitz
Riesa
Großenhain
Merschwitz
Goltzscha
Zottewitz
Blattersleben
Hebelei
Goldkuppe
Golk
Naundörfel
Diera
Ockrilla
Meißen
Döbeln
Coswig
Radebeul
Dresden
Freital
Hartha
Grumbach
Tharandt
Pirna
Freiberg
GERMANY
AUSTRIA
N
5 km
5 mi
Legend
Field plots

Drought impact in Central Europe

- In recent years, Central European forests and trees have severely suffered from **drought events** in the growing season.
- Trees with a relatively **slow growth rate** have a higher risk of **mortality**.
- Increasing drought-induced tree mortality has led to interest in the identification and selection of the potential **drought-tolerant tree species** to substitute drought-sensitive species for the future oriental afforestation and urban greenery.

Standardized Precipitation Index/ SPI

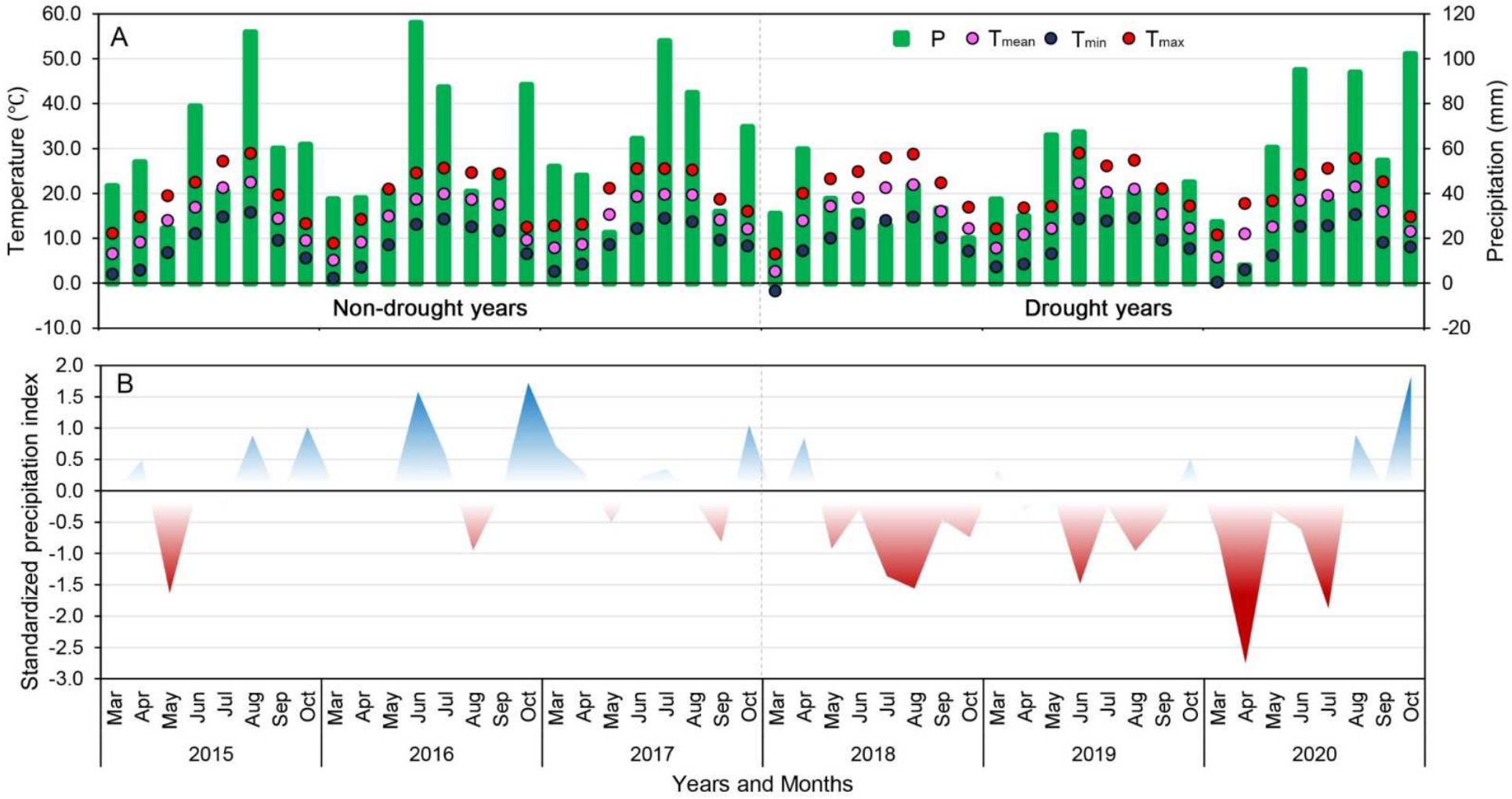


Table1 The information of 22 sampling trees grouped by different age phases

No.	Age	Species	English name	Location	Habitat	Porosity	Height	DBH	Age
1	early-young	*Acer campestre* L.	Field maple	Hebelei	Stand	Diffuse-porous	3.5±0.6	5.9±1.6	6~8
2		*Acer negundo* L.	Boxelder maple	Hebelei	Stand	Diffuse-porous	3.8±0.8	5.6±1.7	6~8
3		*Acer platanoides* L.	Norway maple	Kreinitz	Stand	Diffuse-porous	6.2±1.0	6.4±1.1	8~10
4		*Carpinus betulus* L.	European hornbeam	Hebelei	Stand	Diffuse-porous	3.6±0.9	6.4±1.4	6~8
5		*Fraxinus excelsior* L.	European ash	Grumbach	Stand	Ring-porous	4.1±0.8	3.9±1.0	5~8
6		*Prunus avium* (L.) L.	Sweet cherry	Hebelei	Stand	Semi-ring-porous	3.2±0.8	8.7±2.9	6~8
7		*Quercus robur* L.	English oak	Grumbach	Stand	Ring-porous	3.1±0.9	4.7±1.6	5~8
8		*Sorbus aucuparia* L.	Rowan	Hebelei	Stand	Semi-ring-porous	3.1±0.6	4.3±0.9	6~8
9	late-young	*Acer platanoides* L.	Norway maple	Diera	Avenue	Diffuse-porous	9.7±2.0	24.8±3.8	10~12
10		*Aesculus hippocastanum* L.	Horse-chestnut	Hartha/Grumbach	Avenue	Diffuse-porous	7.6±1.0	19.6±3.5	10~15
11		*Pyrus communis* L.	Pear	Merschwitz	Avenue	Diffuse-porous	7.0±1.2	32.6±5.8	12~15
12		*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.	Sessile oak	Naundörfel	Stand	Ring-porous	5.9±1.1	9.3±2.5	10~12
13		*Quercus robur* L.	English oak	Grumbach(38)/Naundörfel(12)	Avenue	Ring-porous	8.2±1.5	17.6±4.4	12~15
14		*Robinia pseudoacacia* L.	Black locust	Saxdorf	Stand	Ring-porous	6.6±1.0	8.0±1.1	10~12
15		*Sorbus aucuparia* L.	Rowan	Goldkuppe(23)Zottewitz(27)	Avenue	Semi-ring-porous	5.0±1.0	9.6±3.7	10~15
16		*Tilia* × *europaea* L.	European linden	Blattersleben	Avenue	Diffuse-porous	7.6±0.9	16.8±3.9	12~15
17	middle-aged	*Acer negundo* L.	Boxelder maple	Ockrilla(22)/Diera(28)	Avenue	Diffuse-porous	11.8±2.5	27.3±7.4	15~20
18		*Acer saccharinum* L.	Silver maple	Diera	Avenue	Diffuse-porous	14.1±2.4	27.2±3.8	15~25
19		*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle	Tree of heaven	Diera	Avenue	Ring-porous	9.2±1.7	32.9±6.6	15~20
20		*Fraxinus excelsior* L.	European ash	Golk	Avenue	Ring-porous	11.3±2.5	29.4±6.6	25~30
21		*Prunus avium* (L.) L.	Sweet cherry	Hartha(35)/Diera(15)	Avenue	Semi-ring-porous	5.7±1.2	14.9±7.2	15~20
22		*Tilia cordata* Mill.	Littleleaf linden	Goltzscha	Avenue	Diffuse-porous	6.6±1.5	26.5±5.2	25~30

Sampled trees

The habitats were categorized into two groups:

stand trees and avenue trees.

Acer campestre

Acer negundo

Acer platanoides

Carpinus betulus

Fraxinus excelsior

Prunus avium

Quercus robur

Sorbus aucuparia

Robinia pseudoacacia

Quercus petraea

Acer negundo

Acer platanoides

Acer saccharinum

Aesculus hipocastanum

Ailanthus altissima

Fraxinus excelsior

Prunus avium

Pyrus communis

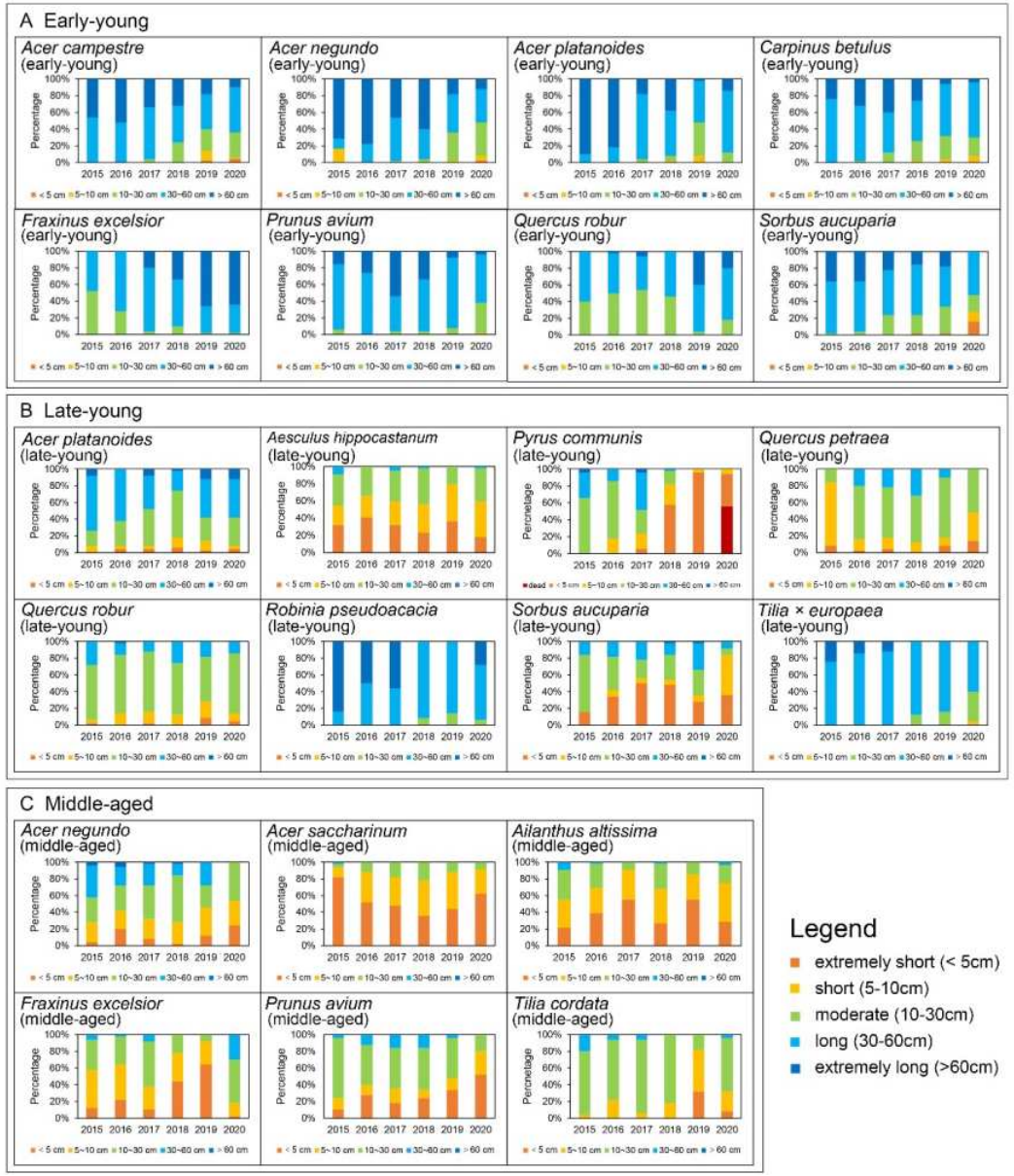
Quercus robur

Sorbus aucuparia

Tilia X europae

Tilia cordata

Results



Length groups:

1) extremely short (< 5cm);

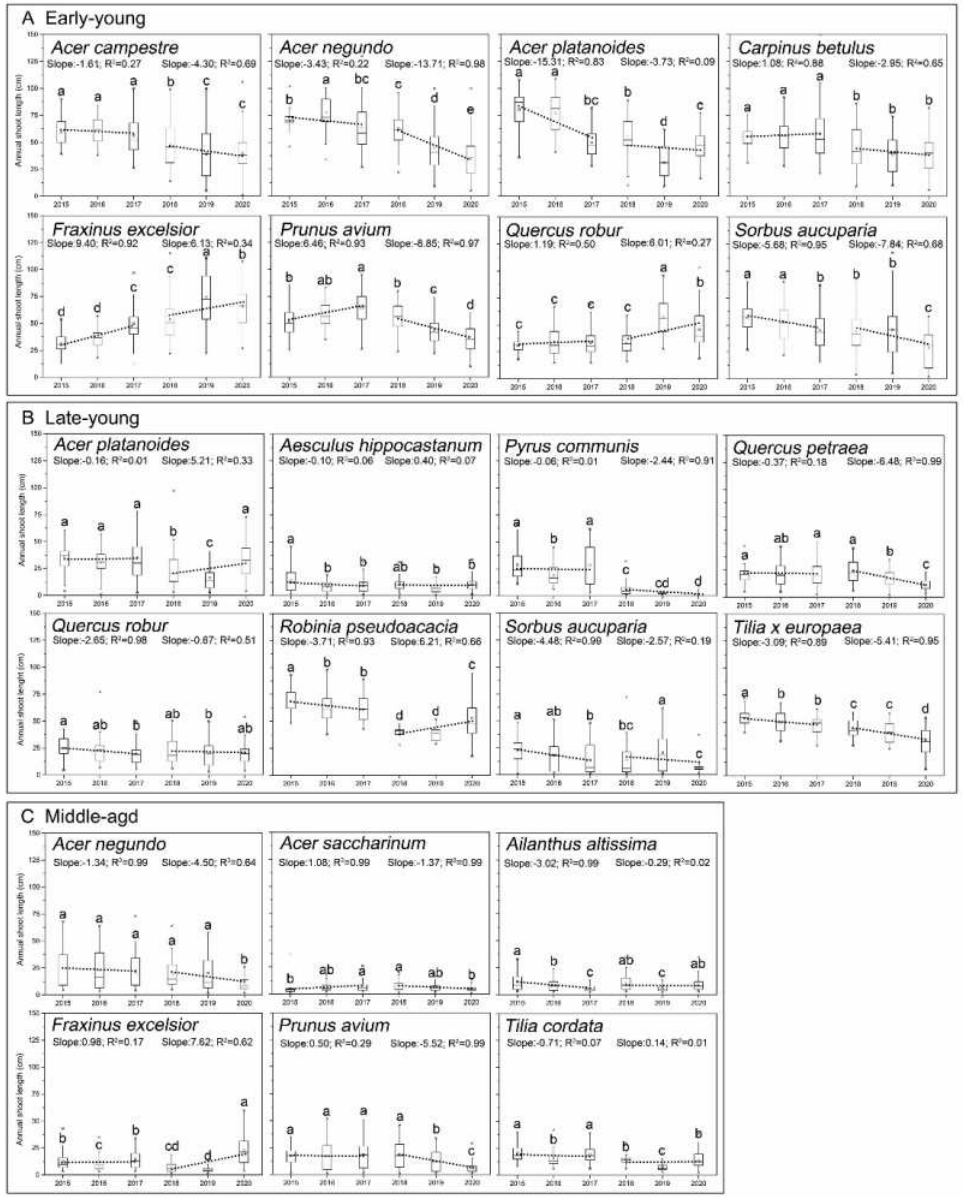
2) short (5-9cm);

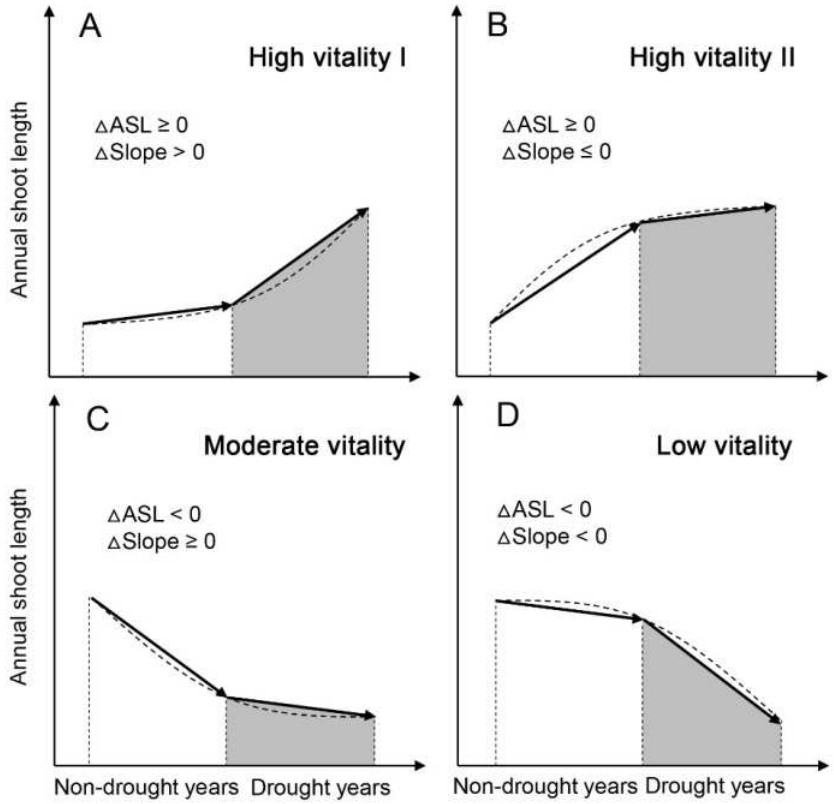
3) moderate (10-29cm);

4) long (30-59cm); and

5) extremely long (> 60cm).

Results





Three scenarios of ASL assessment:
A) Adaptive scenario I and II;
B) Tolerant scenario;
C) Sensitive scenario.

Assessment method

To compare the ASL performance of different tree species under a unified assessment criterion, the index of **relative ASL increase** (RAI) was calculated as below:

$$RAI = \left(\overline{DrASL} - \overline{PrASL}\right) / \overline{PrASL}$$

where $\overline{DrASL}$, $\overline{PrASL}$ indicate the mean ASL value of the non-drought period and the drought period, respectively.

Additionally, the index of **ASL tendency variation** (ATV) was calculated to indicate each species' △Slope performance as follows:

$$ATV = DrRad - PrRad$$

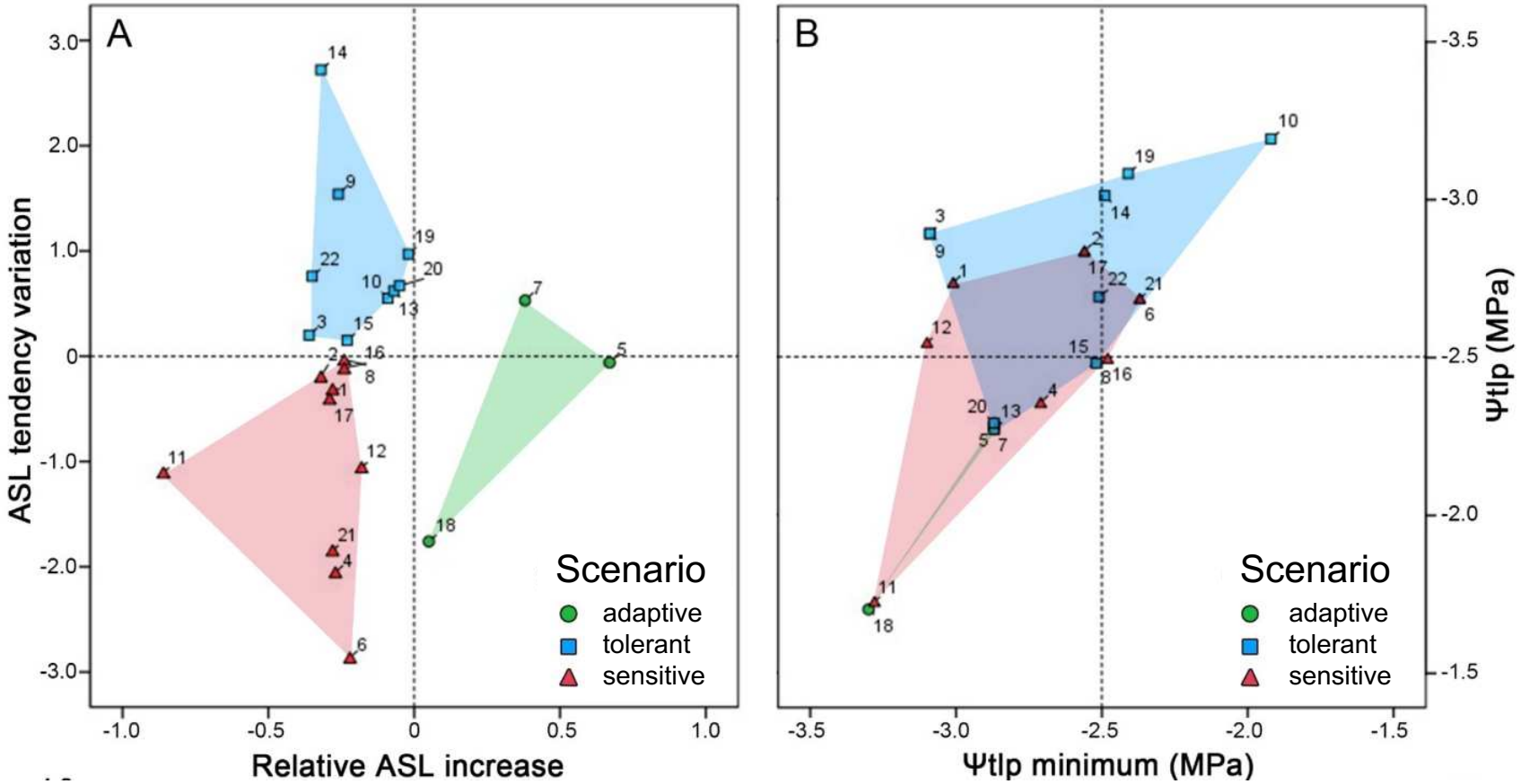
where $DrRad$, $PrRad$ indicates the slope value of linear regression within the non-drought period and the drought period, respectively.

Drought tolerance evaluation

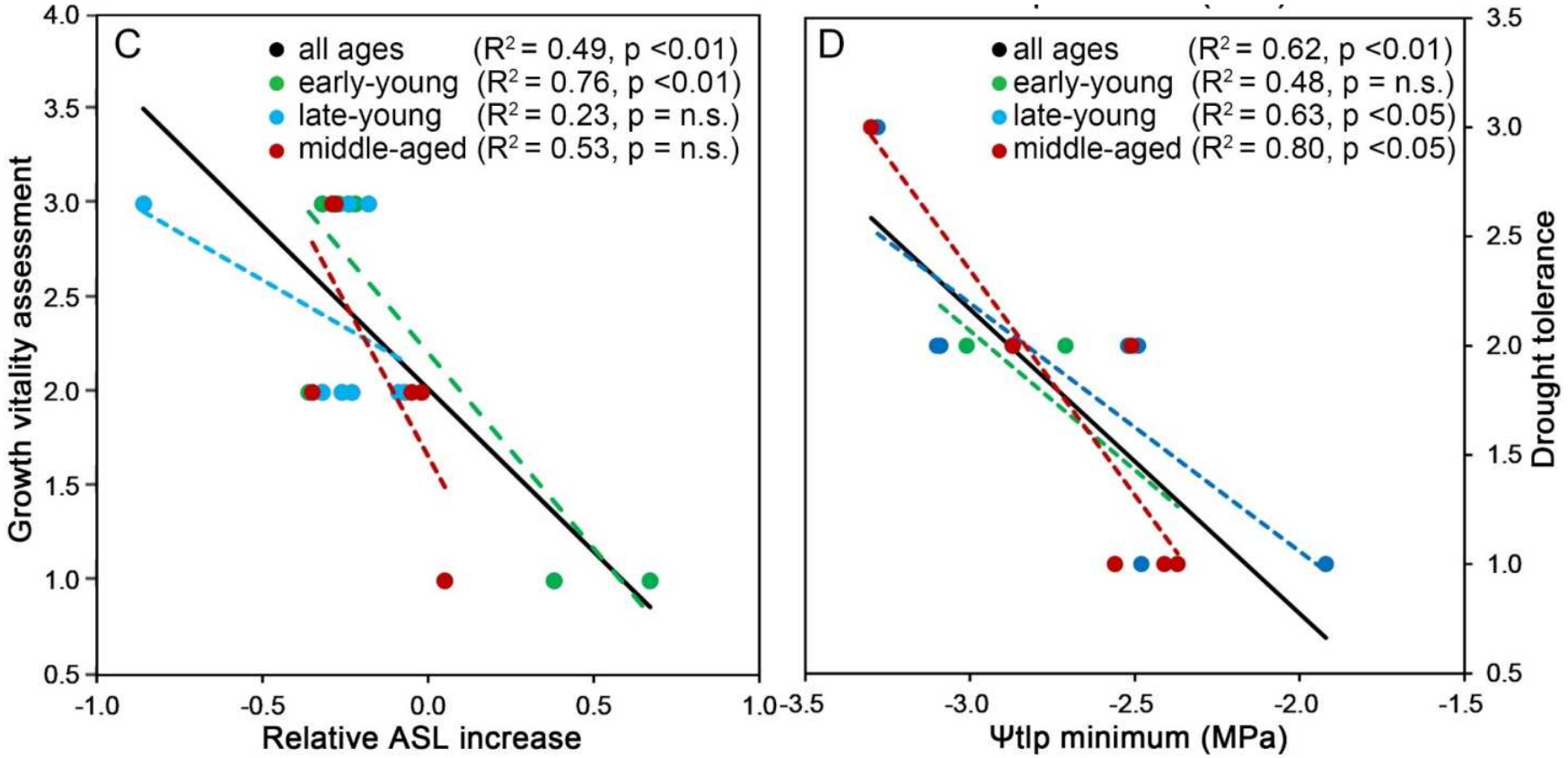
Table2 Drought tolerance evaluation of tree species

Species	Xylem structure	Hydraulic strategy	I	II	III	IV	Primary evaluation (Average)	Ψ_{tlp} (-MPa) Mean±SD	Ψ_{tlp} (-MPa) Minimum	Final evaluation	References
Acer campestre	D	A	3	3	2	2	2.50	2.32±0.55	3.01	2 moderate	f, g, k
Acer negundo	D	I	3	3	2	3	2.75	2.22±0.52	2.56	1 low	n, p
Acer platanoides	D	A	2	2	2	2	2.00	2.16±0.53	3.09	2 moderate	c, b, f, g
Acer saccharinum	D	A	1	1	2	2	1.50	3.30±0.03	3.30	3 high	p, q
Aesculus hippocastanum	D	I	1	0	2	2	1.25	1.81±0.16	1.92	1 low	b, f
Ailanthus altissima	R	I	3	3	2	2	2.50	1.95±0.36	2.41	1 low	l, m, o,
Carpinus betulus	D	A	2	2	1	2	1.75	2.65±0.05	2.71	2 moderate	c, f, h, i
Fraxinus excelsior	R	A	2	2	1	2	1.75	2.71±0.18	2.87	2 moderate	b, f, h, i,
Prunus avium	S	I	2	3	1	2	2.00	2.32±0.06	2.37	1 low	b, f
Pyrus communis	D	A	2	2	NA	2	2.00	3.28±0.05	3.28	3 high	j
Quercus petraea	R	A	3	2	2	3	2.50	2.49±0.38	3.10	2 moderate	a, d, f, g, k
Quercus robur	R	A	2	1	2	2	1.75	2.73±0.12	2.87	2 moderate	a, b, f
Robinia pseudoacacia	R	A	3	3	3	3	3.00	2.01±0.27	2.49	2 moderate	n, o, r
Sorbus aucuparia	S	A	1	1	1	1	1.00	2.52±0.27	2.52	2 moderate	f
Tilia × europaea	D	I	2	1	2	NA	1.67	2.51±0.05	2.48	1 low	f
Tilia cordata	D	I	2	2	2	2	2.00	2.32±0.11	2.51	2 moderate	c, e, f, h, i

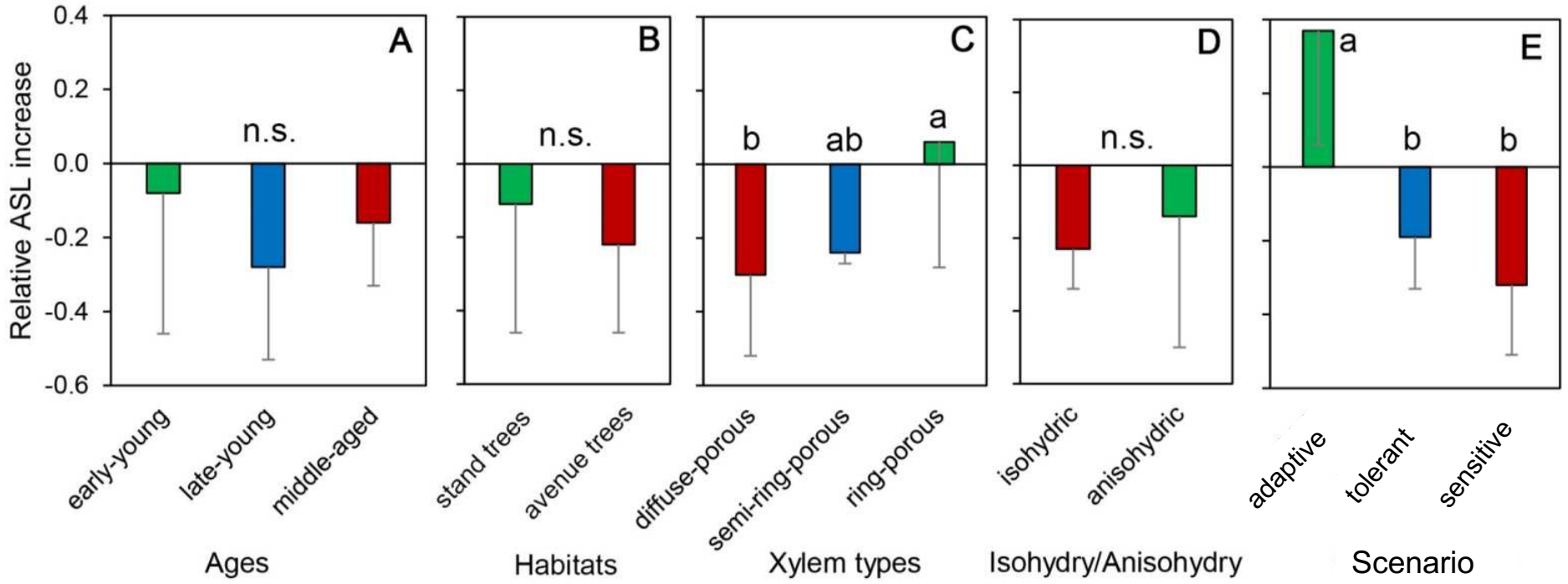
Scenarios


A
B
ASL tendency variation
Relative ASL increase
Ψtlp (MPa)
Ψtlp minimum (MPa)
Scenario
adaptive
tolerant
sensitive

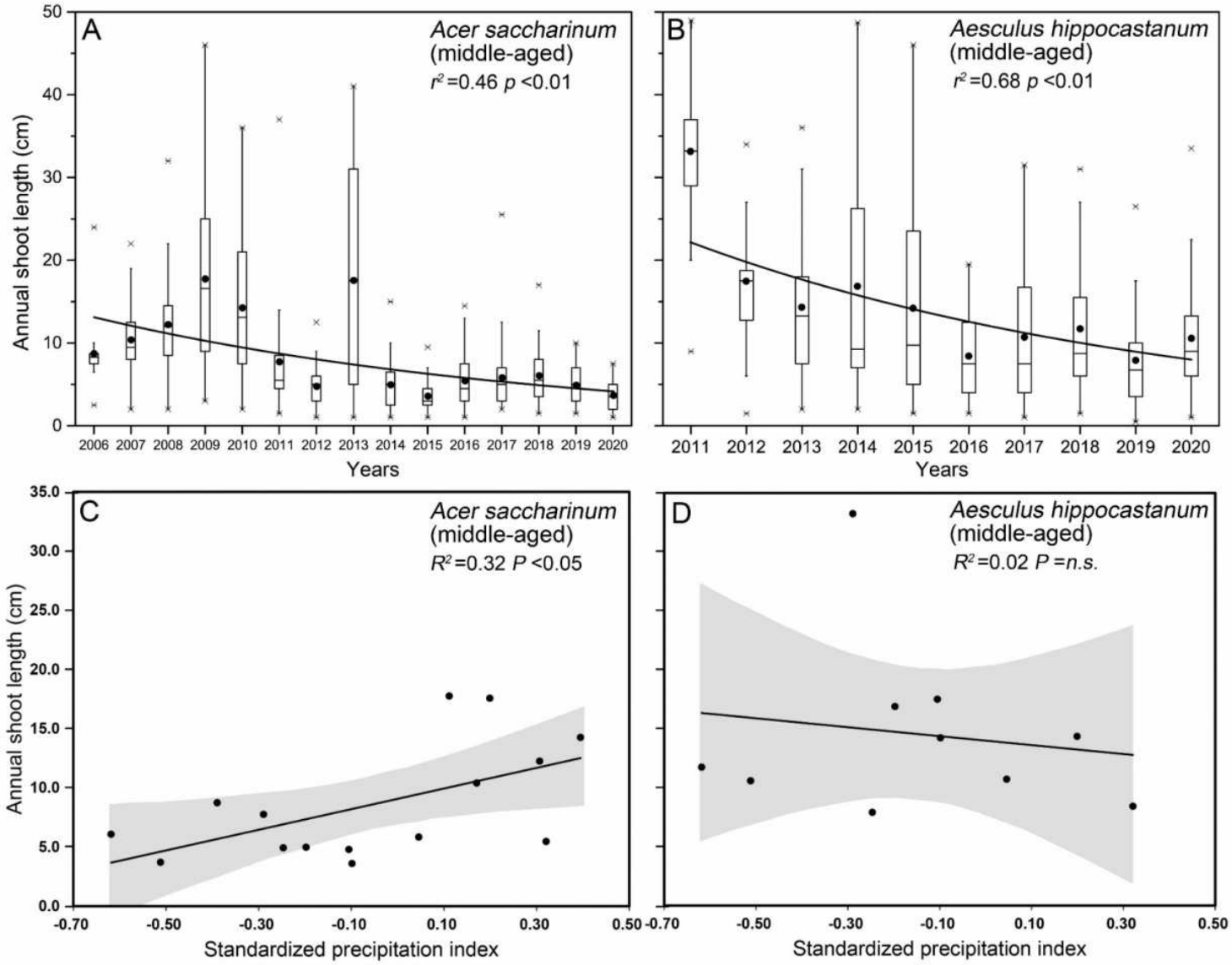
Relationship



Factors analysis



Tree ages


A
Acer saccharinum
(middle-aged)
r² =0.46 p <0.01
Annual shoot length (cm)
Years
B
Aesculus hippocastanum
(middle-aged)
r² =0.68 p <0.01
Years
C
Acer saccharinum
(middle-aged)
R² =0.32 P <0.05
Annual shoot length (cm)
Standardized precipitation index
D
Aesculus hippocastanum
(middle-aged)
R² =0.02 P =n.s.
Standardized precipitation index

Discussion

- Our result showed that the responses of tree growth to drought varied among different species and habitats, and strongly depended on **species-** and **site-specific** characteristics.
- However, **no relationships** between annual shoot length and **climatic parameters** were found in our analysis.
- **Grafting effect** may lead to permanently reduced growth.

Conclusion

- The annual shoot length of different tree species was affected by multiple **internal** and **external factors**.
- Tree shoot growth did not directly correlate with **drought tolerance** of tree species.
- **Ring-porous** species with **anisohydric** behavior were likely have better ASL performance associated with higher drought tolerance than diffuse-porous species with isohydric behavior.

Outlook

- ASL measurement was recommended to be an easy, fast and effective method to assess tree growth vitality and adaptability in response to their habitat stress, this method was also helpful to select urban tree species with high tolerance under climate change impacts.

- Further post-drought research work is recommended to further test our hypothesis.

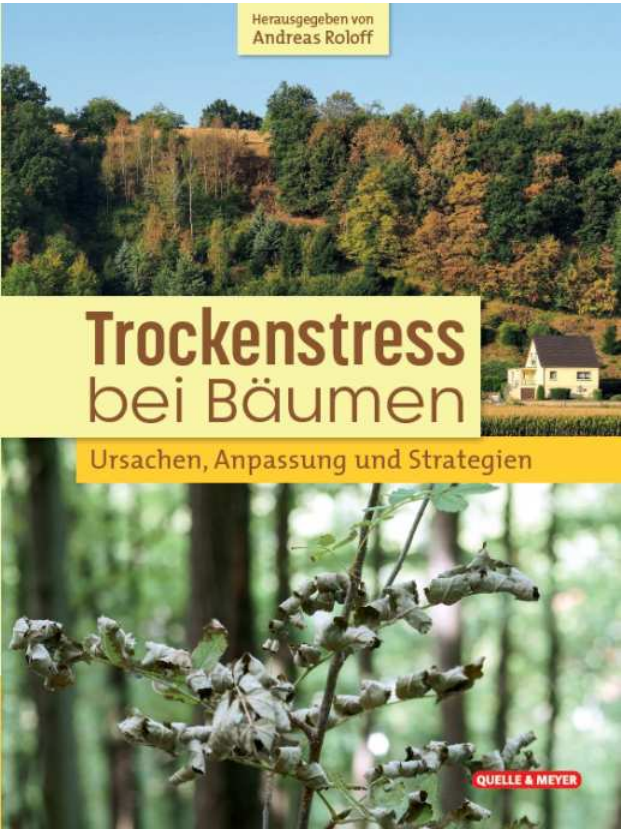
Acknowledgments

We especially thank Katrin Schaeffer, Alexander Solger, and Nicole Opfermann for technical guidance.

Thanks to all staff members at the Institute of Forest Botany and Forest Zoology of the Dresden University of Technology.

Funding for this work was provided by a Sino-German (CSC-DAAD) Postdoc Scholarship Program 2019 (201806260401) and Dresden Junior Fellowship (F-010000-702-1H2-3440100).

Publications



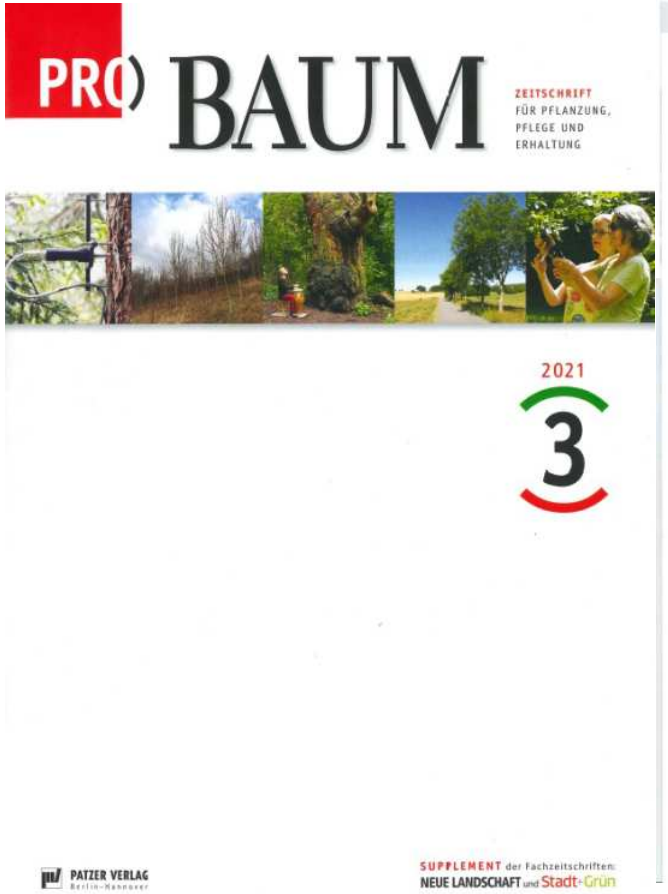
7 Klimasensitivität der Trieblängen verschiedener Baumarten – Eine Fallstudie zu den Trockenjahren 2018 bis 2020

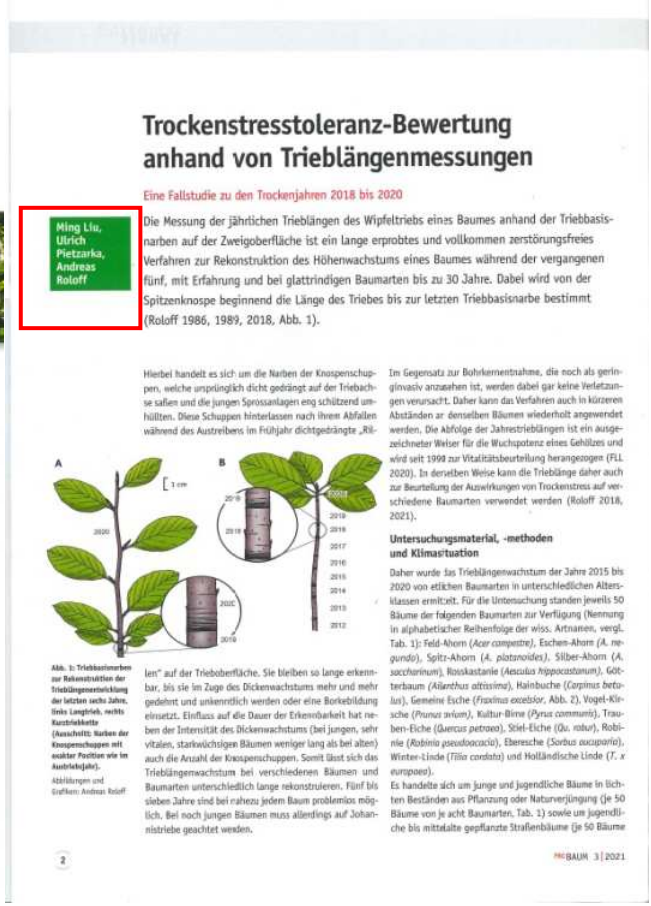
Ming Liu (unter Mitarbeit von Ulrich Pietzarka und Andreas Roloff)

7.1 Einführung

Die Messung der jährlichen Trieblänge des Wipfeltriebes eines Baumes anhand der Triebbasisnarben auf der Zweigoberfläche ist ein lange erprobtes und vollkommen zerstörungsfreies Verfahren zur Rekonstruktion des Höhenwachstums eines Baumes während der vergangenen 5, mit Erfahrung und bei glattrindigen Baumarten bis zu 30 Jahre. Dazu wird von der Spitzenknospe beginnend die Länge des Triebes bis zur letzten Triebbasisnarbe bestimmt (Roloff 1986, 1989). Dabei handelt es sich um die Narben der Knospenschuppen, die ursprünglich dicht gedrängt auf der Triebachse saßen und die jungen Sprossanlagen eng schützend umhüllten. Diese Schuppen hinterlassen nach ihrem Abfallen während des Austreibens im Frühjahr dichtgedrängte „Rillen" auf der Trieboberfläche. Sie bleiben so lange erkennbar, bis sie im Zuge des sekundären Dickenwachstums mehr und mehr gedehnt und unkenntlich werden oder eine Borkebildung einsetzt. Einfluss auf die Dauer der Erkennbarkeit hat neben der Intensität des Dickenwachstums (bei jungen, sehr vitalen, starkwüchsigen Bäumen weniger lang als bei alten) auch die Anzahl der Knospenschuppen. Somit lässt sich das Trieblängenwachstum bei verschiedenen Bäumen und Baumarten unterschiedlich lange rekonstruieren. Fünf bis sieben Jahre sind bei nahezu jedem Baum problemlos möglich. Bei noch jungen Bäumen muss auch auf Johannistriebe und darauf geachtet werden, ob in den ersten Jahren Auswirkungen eines Pflanzschocks vorliegen.

Im Gegensatz zur Bohrkernentnahme, die noch als geringinvasiv anzusehen ist, werden dabei gar keine Verletzungen verursacht. Daher kann das Verfahren auch in kürzeren Abständen an denselben Bäumen wiederholt angewendet werden. Die Abfolge der Jahrestrieblängen ist ein ausgezeichneter Weiser für die Wuchspotenz eines Gehölzes und wird seit 1990 zur Vitalitätsbeurteilung herangezogen. In derselben Weise kann die Trieblänge daher auch zur Beurteilung der Auswirkungen von Trockenstress auf verschiedene Baumarten verwendet werden (Roloff 2018).





Trockenstresstoleranz-Bewertung anhand von Trieblängenmessungen

Eine Fallstudie zu den Trockenjahren 2018 bis 2020

Ming Liu, Ulrich Pietzarka, Andreas Roloff

Die Messung der jährlichen Trieblängen des Wipfeltriebs eines Baumes anhand der Triebbasisnarben auf der Zweigoberfläche ist ein lange erprobtes und vollkommen zerstörungsfreies Verfahren zur Rekonstruktion des Höhenwachstums eines Baumes während der vergangenen fünf, mit Erfahrung und bei glattrindigen Baumarten bis zu 30 Jahre. Dabei wird von der Spitzenknospe beginnend die Länge des Triebes bis zur letzten Triebbasisnarbe bestimmt (Roloff 1986, 1989, 2018, Abb. 1).

Hierbei handelt es sich um die Narben der Knospenschuppen, welche ursprünglich dicht gedrängt auf der Triebachse saßen und die jungen Sprossanlagen eng schützend umhüllten. Diese Schuppen hinterlassen nach ihrem Abfallen während des Austreibens im Frühjahr dichtgedrängte „Rillen" auf der Trieboberfläche. Sie bleiben so lange erkennbar, bis sie im Zuge des Dickenwachstums mehr und mehr gedehnt und unkenntlich werden oder eine Borkebildung einsetzt. Einfluss auf die Dauer der Erkennbarkeit hat neben der Intensität des Dickenwachstums (bei jungen, sehr vitalen, starkwüchsigen Bäumen weniger lang als bei alten) auch die Anzahl der Knospenschuppen. Somit lässt sich das Trieblängenwachstum bei verschiedenen Bäumen und Baumarten unterschiedlich lange rekonstruieren. Fünf bis sieben Jahre sind bei nahezu jedem Baum problemlos möglich. Bei noch jungen Bäumen muss allerdings auf Johannistriebe geachtet werden.

Im Gegensatz zur Bohrkernentnahme, die noch als geringinvasiv anzusehen ist, werden dabei gar keine Verletzungen verursacht. Daher kann das Verfahren auch in kürzeren Abständen an denselben Bäumen wiederholt angewendet werden. Die Abfolge der Jahrestrieblängen ist ein ausgezeichneter Weiser für die Wuchspotenz eines Gehölzes und wird seit 1998 zur Vitalitätsbeurteilung herangezogen (FLL 2020). In derselben Weise kann die Trieblänge daher auch zur Beurteilung der Auswirkungen von Trockenstress auf verschiedene Baumarten verwendet werden (Roloff 2018, 2021).

Untersuchungsmaterial, -methoden und Klimasituation

Daher wurde das Trieblängenwachstum der Jahre 2015 bis 2020 von etlichen Baumarten in unterschiedlichen Altersklassen ermittelt. Für die Untersuchung standen jeweils 50 Bäume der folgenden Baumarten zur Verfügung (Nennung in alphabetischer Reihenfolge der wiss. Artnamen, vergl. Tab. 1): Feld-Ahorn (*Acer campestre*), Eschen-Ahorn (*A. negundo*), Spitz-Ahorn (*A. platanoides*), Silber-Ahorn (*A. saccharinum*), Rosskastanie (*Aesculus hippocastanum*), Götterbaum (*Ailanthus altissima*), Hainbuche (*Carpinus betulus*), Gemeine Esche (*Fraxinus excelsior*, Abb. 2), Vogel-Kirsche (*Prunus avium*), Kultur-Birne (*Pyrus communis*), Trauben-Eiche (*Quercus petraea*), Stiel-Eiche (*Qu. robur*), Robinie (*Robinia pseudoacacia*), Eberesche (*Sorbus aucuparia*), Winter-Linde (*Tilia cordata*) und Holländische Linde (*T. x europaea*).

Es handelte sich um junge und jugendliche Bäume in lichten Beständen aus Pflanzung oder Naturverjüngung (je 50 Bäume von je acht Baumarten, Tab. 1) sowie um jugendliche bis mittelalte gepflanzte Straßenbäume (je 50 Bäume

Abb. 1: Triebbasisnarben zur Rekonstruktion der Trieblängenentwicklung der letzten sechs Jahre, links Langtrieb, rechts Kurztriebkette (Ausschnitt; Narben der Knospenschuppen mit exakter Position wie im Austriebsjahr). Abbildungen und Grafiken: Andreas Roloff

Reference

[1] ***Ming Liu***, Ulrich Pietzarka, Andreas Roloff. Tree Growth Vitality Assessment via Measuring Annual Shoot Length of Various Temperate Broadleaf Species within the Drought Period from 2018 to 2020 [J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2022. (*under review*)

[2] ***Ming Liu***, Deshun Zhang, Ulrich Pietzarka, Andreas Roloff. Assessing the Adaptability of Urban Tree Species to Climate Change Impacts: A Case study in Shanghai [J]. Urban Forestry and Urban Greening, 2021 ,62(07) :1-17. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127186

[3] ***Ming Liu*** (4/7), Klimasensitivität der Trieblängen verschiedener Baumarten-Eine Fallstudie in den Trocknjahren 2018 und 2019 [A]. In: Trockenstress bei Bäumen, Ursachen, Anpassung und Strategien [M]. Wiebelsheim:Quelle & Meyer Verlag GmbH & Co., 2021. (Anne Dreßler, Britt Kniesel, Doris Krabel, ***Ming Liu***, Ulrich Pietzarka, Andreas Roloff, Lauritz Schrader)

[4] Roloff, A. Urban tree management: for the sustainable development of green cities. John Wiley & Sons, 2016.

[5] Roloff, A. Handbuch Baumdiagnostik：Baum-Körpersprache und Baum-Beurteilung. Verlag EUGEN ULMER, 2015.

Institute of Forest Botany and Forest Zoology, TU Dresden, Pienner Str. 7, 01737 Tharandt, Germany

Dr. Ming Liu

Dr. Ulrich Pietzarka

Dr. Britt Kniesel

Dr. Matthias Meyer

Prof. Dr. Andreas Roloff

Thanks for your concerns !

3rd March 2022
TU Dresden