



Л. І. ТЕРЕЩЕНКО¹, А. Ю. ГОРДІЯЩЕНКО², В. П. САМОДАЙ³
МІНЛИВІСТЬ І ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКИ МОРФОЛОГО-АНАТОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
ХВОЇ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ В УМОВАХ СВІЖОГО СУБОРУ

¹Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

²Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва

³Красностроянецьке відділення Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

Метою дослідження був пошук маркерних ознак, які ідентифікують дерева, та взаємозв'язків морфолого-анатомічних показників хвої дерев сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) на основі вивчення мінливості ознак у насадженні ДП «Троянецьке лісове господарство» Сумської області. Гілки з хвоєю заготовлено із середньої частини крони 31 дерева в умовах свіжого субору. Визначення зв'язків між показниками здійснено кореляційним, графічним і регресійним методами аналізу. Виявлено, що амплітуда варіювання довжини дворічної хвої була на 18 % більшою, ніж однорічної. Коефіцієнти варіації більшості морфолого-анатомічних показників дерев відповідають низькому та середньому рівням ендегенної мінливості, підвищеним рівень мінливості є лише для показника відстані між провідними пучками в центральному циліндрі. До морфолого-анатомічних ознак хвої, які диференціюють дерева, належать: довжина хвої, площу її поперечного перерізу, ширина хвої, ширина центрального циліндра та кількість смоляних каналів. Зроблено припущення про можливість використання маркером мікропопуляційного рівня співвідношення індексу форми центрального циліндра та індексу форми поперечного перерізу хвої.

Ключові слова: *Pinus sylvestris* L., параметри хвої, пагони, центральний циліндр, маркерні ознаки, смоляні канали.

Вступ. Розвиток асиміляційного апарату дерева зумовлює ріст і розвиток інших органів рослини. Параметри хвої залежать як від віку й стану дерев, так і від умов мінерального, повітряного й водного живлення, клімату й погоди, висоти над рівнем моря, антропогенного впливу тощо (Vidyakin 2004, Pashkevych 2007, Neverova et al. 2012, Tereshchenko 2015, Gebauer et al. 2017, Bessonova & Iusupova 2018, Soboleva et al. 2018). Регуляторні механізми, які визначають розмір і форму хвої, є життєво важливими, оскільки дають можливість рослинам адаптуватися до умов довкілля (Gebauer et al. 2018). Анатомічні перетворення рослин одночасно регулюють ендегенні та екологічні фактори (Bongard-Pierce et al. 1996, Reich et al. 1996, Gebauer et al. 2017, Jankowski et al. 2017). Також не можна виключати спадкову складову особливостей морфології та анатомії хвої (Keng & Litl 1961, Mamaev 1973, Prokazin & Bonn 1976, Kuzmin et al. 2004, Jankowski et al. 2017, Galdina & Khazova 2019).

Недостатня вивченість реакції анатомії хвої на зміну клімату спонукає дослідників звернути увагу на це питання. Тому актуальним є поглиблення досліджень щодо вивчення генетичної структури популяції сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), виділення генетичних маркерів її стійкості до екстремальних посушливих умов (Tkach & Meshkova 2019). За даними фінських учених (Kivimäenpää et al. 2017) унаслідок потепління посилюється ріст пагонів і стовбурів дерев, хвоя збільшилася в розмірах, зросла кількість продихів, змінилися пропорції центрального циліндра, флоєми й ксилеми та зменшилася частка мезофілу. За результатами іншого дослідження (Lin et al. 2001), у разі підвищеного вмісту CO₂ у повітрі площа поперечного перерізу хвоїнки збільшилася на 10,4 % переважно за рахунок товщини хвої (на 6,4 %), а відносні площі смоляних каналів і центрального циліндра залишилися подібними до контролю або зменшилися.

Сучасні публікації в Україні щодо морфолого-анатомічних характеристик асиміляційного апарату сосни звичайної стосуються хвої дерев із борів Малого Полісся (Zaika & Rudenko 2012), різних лісорослинних зон (Tereshchenko 2015), різних категорій смолопродуктивності (Osadchuk 2013), варіантів сортовипробних культур (Dyshko & Torosova 2017), екоотів в екстремальних умовах (Pashkevych 2007). Отримані дані свідчать про деяке потовщення хвоїнок у сухих борах, збільшення частки дерев із перехідними та паренхімними смоляними каналами у хвоїнках у напрямку Полісся – Лісостеп – Степ (від 26 до 78 %).

Також виявлено, що хвоя високосмолопродуктивних дерев має більші розміри та відрізняється анатомічно від середньо- та низькосмолопродуктивних форм. У сортовипробних культурах варіювання лінійних розмірів хвої (довжини, ширини, товщини) є меншим, ніж варіювання кількості смоляних каналів і показників площі асиміляційних і провідних тканин. Для хвої популяцій із екстремальних умов (крейдяні схили та оліготрофне болото) характерними є зменшення довжини, збільшення ширини й товщини, а проміжок між провідними пучками центрального провідного циліндра майже вдвічі зменшується, що є реакцією на недостатню доступність вологи.

Пошук і виділення високоінформативних маркерів серед кількісних ознак вегетативних органів триває. Коефіцієнти ендегенної мінливості морфолого-анатомічних показників за шкалою С. О. Мамаєва – від низьких до дуже високих (Мамаєв 1973). Низька ендегенна мінливість ознаки може свідчити про високу генотипову детермінованість її розвитку (Petrov 1990, Vidyakin 2004). Такими показниками – маркерами популяцій вважають ендегенну та часову (за роками) мінливості довжини й ширини поперечного перерізу хвої (Lebedev 2014, Bronnikova & Shakhriova 2016), індекс форми поперечного перерізу (Lebedev 2014). Як маркерні ознаки рекомендують використовувати лінійні параметри й масу хвої; відношення маси хвої до її довжини й показники втрати вологи під час висушування – як характеристики з виразною спадковою обумовленістю (Besschetnova et al. 2012). Оскільки мінливість співвідношення кількості смоляних каналів та довжини хвоїнки в межах крони дерева відповідає низькому та середньому рівням, а всередині популяції – підвищеному та високому, то, на думку А. І. Відякіна та О. Г. Лебедева (Vidyakin & Lebedev 2014), цей показник можна вважати інформативним маркером популяцій сосни звичайної.

Нерідко подеревну амплітуду варіювання морфолого-анатомічних показників хвої в межах певного деревостану аналізують частково або недостатньо. Маркерні ознаки можуть бути використані під час дослідження особливостей адаптації індивідумів сосни звичайної до нових умов росту. Подальші дослідження, на думку А. Янковські зі співавторами (Jankowski et al. 2017) мають з'ясувати, якою мірою спостережувана мінливість *in situ* є внутрішньовидовою генетичною диференціацією у порівнянні з пластичними модифікаціями, враховуючи, що функції певних ознак можуть характеризувати їхнє адаптивне значення. Такі дослідження сприятимуть виявленню ступеня генетичного контролю над структурою хвої та є надзвичайно важливими для ідентифікації як окремих дерев, так і певних насаджень.

Метою дослідження був пошук маркерних ознак дерев на основі вивчення мінливості морфолого-анатомічних показників хвої в насажденні сосни звичайної 84-річного віку ДП «Тростянецьке ЛГ».

Матеріали й методи. Досліджуваний деревостан сосни звичайної розташований у південно-східній частині Сумської області, в Литовському лісництві ДП «Тростянецьке ЛГ». Штучне насадження в умовах свіжого дубового субору (В₂ДС) росте за I^a бонітетом, повнота – 0,7. Матеріалом для дослідження були гілки з хвою зі зрубаних дерев у частини насадження, відведеній під суцільну рубку у 2017 р. (1,5 га). Гілки з дво- та трирічними приростами заготовлено взимку із середньої частини крон 31 дерева.

Для перевірки наявності впливу погодних умов на розміри хвої в різні роки залучено дані метеоспостережень Краснотростянецького відділення УкрНДІЛГА. Визначено річну та за вегетаційний період (квітень – жовтень) суму опадів і середню температуру повітря. Середні багаторічні дані взято з інтернет-джерел (Weather and climate 2020).

Було проаналізовано зразки 1–3-річної хвої. Перед тим, як зробити розріз хвоїнки, визначали її довжину (для кожного дерева – по 12 хвоїнок одного віку). Ширину і товщину хвоїнок вимірювали на поперечному перерізі. Площу поверхні хвоїнки розраховували за формулою (1) (Bazylevych et al. 1978):

$$S = 5,14 \cdot L \cdot \frac{a+b/2}{2}, \quad (1)$$

де L – довжина, мм; a – товщина, мм; b – ширина хвоїнки, мм.

Площу поперечного перерізу визначали як площу півкола. Ширину й висоту поперечного перерізу та центрального циліндра, а також кількість і розташування смоляних каналів визначали в середній частині хвоїнки за допомогою мікроскопа «Біолам-70» (80-кратне збільшення). Анатомічні особливості хвої досліджували на здорових хвоїнках дворічного віку 26 дерев. Зрізи робили безпечною бритвою, вивчали по 3–6 хвоїнок різного віку кожного зразка. Індекс форми поперечного перерізу визначали як співвідношення висоти й ширини. Слід зауважити, що довжину трирічної хвої визначено для гілок семи дерев, для решти дерев виявлено лише залишки такої хвої.

Отримані дані обробляли статистично за допомогою пакету програм Microsoft Excel. Ступінь варіювання ознак визначали за шкалою рівнів мінливості С. О. Мамаєва (Мамаєв 1973). Визначення характеру зв'язку між показниками здійснювали графічним і регресійним методами аналізу. Показники парної лінійної регресії оцінено методом найменших квадратів. Якість рівняння перевірено через похибку абсолютної апроксимації (середнє відхилення розрахункових значень від фактичних). Статистичну значущість рівняння перевірено за допомогою коефіцієнта детермінації (R^2), а статистичну значущість R^2 – за допомогою критерію Фішера (F).

Результати та обговорення. Відомо, що кліматичні умови впливають на ріст і розвиток рослин. Характеристику температурного режиму й забезпеченість вологою в роки, коли відбувався ріст хвої, та середні багаторічні значення наведено на рисунку 1.

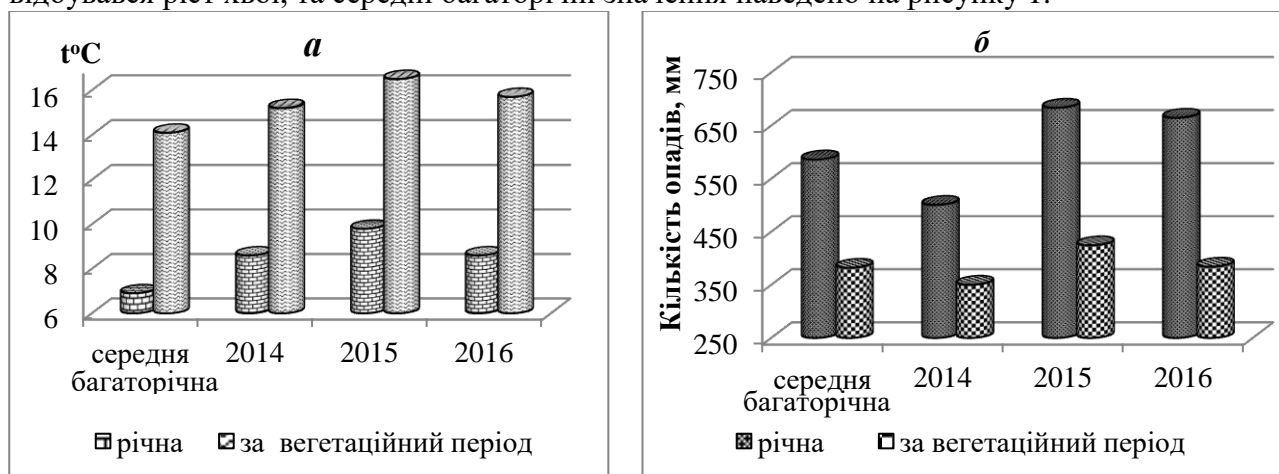


Рис. 1 – Показники середньої температури повітря (а) та кількості опадів (б) у період дослідження

Відповідно до метеоданих м. Тростянець, середня багаторічна річна температура повітря становить 6,9 °С, а середня багаторічна сума опадів – 589 мм, із яких за вегетаційний період випадає 382 мм. Річні показники середньої температури повітря у 2014–2016 рр. перевищували середнє багаторічне значення, також певне перевищення багаторічного значення визначено впродовж вегетаційних періодів, особливо у 2015 р. (див. рис. 1). Водночас за кількістю опадів період вегетації та загалом 2015 рік для рослин був доволі сприятливим. Кількість опадів не поступалася середнім багаторічним значенням також у 2016 р., лише у 2014 р. цей показник поступався середній багаторічній нормі.

Мінливість довжини дворічної хвої була більшою, ніж однорічної: межі варіювання становили від 59,3 до 102,4 мм та від 61,8 до 98,3 мм відповідно; у трирічної – від 72,6 до 102,1 мм. За шкалою С. О. Мамаєва мінливість відповідає низькому та середньому рівням. Перевищення значення медіани над середнім для трирічної хвої (рис. 2) свідчить про фактично більше варіювання показника між деревами, ніж у хвої одно- та дворічного віку (на 13,5 і 9,1 %).

Інтерквартильний розмах значень довжини хвої трирічного віку був більшим. Подеревне порівняння показників довжини хвої різного віку за t -критерієм свідчить про значну

неоднорідність вибірки: у двох дерев трирічна хвоя була суттєво довшою від хвої молодшого віку, ще в двох – суттєво довшою виявилася дворічна хвоя, у решти дерев (3 шт.) різниця довжини хвої різного віку була несуттєвою. Це демонструє, що довжина трирічної хвої окремих дерев не обов'язково більша, хоча середнє значення вибірки свідчить про таке переважання. Для отримання коректних результатів щодо розмірів хвої обсяг вибірки має становити не менше 20 хвоїнок на дерево.

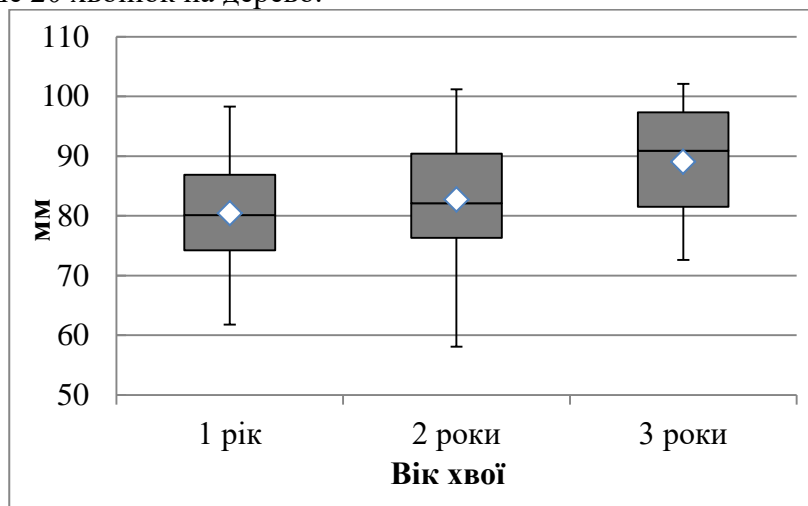


Рис. 2 – Розмах варіювання довжини хвої сосни звичайної різного віку

Індивідуальні відмінності між деревами зумовлені як спадковими властивостями, так і просторовими відмінностями екологічних умов. Довжина хвої змінювалася таким чином: найменший показник визначено для однорічної хвої ($80,4 \pm 1,52$ мм), дещо довшою була хвоя дворічного віку ($82,7 \pm 2,03$ мм), найдовшою – трирічна ($89,0 \pm 4,12$ мм). Отримані нами дані свідчать, що збільшення розмірів хвої з віком не пов'язане з погодними умовами, оскільки у 2014 р. умови для росту хвої були найменш сприятливими. Подібні результати отримано й іншими дослідниками (Bronnyukova & Shakhrynova 2016).

Дворічні хвоїнки дерев, відібрані для анатомічного дослідження, характеризувалися такими середніми показниками: довжина – $75,8 \pm 8,10$ мм, ширина – $1,65 \pm 0,12$ мм, товщина – $0,74 \pm 0,07$ мм. Значення коефіцієнтів варіації були низькими: 11,6; 8,6 та 11,3 % відповідно. Середня площа поверхні хвоїнок становила $304,7 \pm 40,4$ мм², а площа поперечного перерізу – $1,22$ мм². Мінливість показників площ – середня (13,3 та 14,5 % відповідно).

Показник індексу форми поперечного перерізу дворічних хвоїнок (відношення товщина/ширина) становив у середньому 0,45 і варіював від 0,36 до 0,50 (табл. 1). Незважаючи на значення коефіцієнта варіації 6,9 %, за індексом форми хвоя різного віку в межах дерева не була подібною. Зокрема, індекс форми однорічної хвої дерева № 8 становив 0,46, а для дворічної – 0,50. Подібні показники визначені стосовно дерев № 3 та № 13, причому індекс форми трирічної хвої був меншим, ніж дворічної. Через це є певні застереження щодо використання показника як маркерного для індивідів. Водночас доцільно перевірити його як маркер популяційного рівня в географічних культурах. Як зазначають дослідники, для хвої дерев сосни Національного ботсаду ім. М. М. Гришка (Київ) цей показник становив 0,55 (Pashkevych 2007), для Північного Уралу – 0,48–0,50 (Yatsenko 1965).

За твердженням Н. А. Пашкевич (Pashkevych 2007), кількість смоляних каналів є однією з основних диференціальних морфолого-анатомічних ознак хвої на видовому рівні.

Як видно з табл. 2, середня кількість смоляних каналів на плескатому боці хвоїнки становила $4,3 \pm 1,2$ шт., на опуклому – $9,5 \pm 1,7$ шт., а загалом для досліджуваної хвої – $13,8 \pm 2,8$ шт. Мінливість між індивідами за кількістю смоляних каналів на плескатому боці хвоїнки була підвищеною (28 %), а на опуклому боці та загалом – середньою (19–20 %).

Таблиця 1

Біометричні показники дворічної хвої сосни звичайної

№ дерева	Середня довжина, мм	Середня ширина, мм	Середня товщина, мм	Площа поверхні хвоїнки, мм ²	Площа поперечного перерізу, мм ²	Індекс форми поперечного перерізу
1	78,7	1,6	0,8	318,7	1,04	0,47
2	74,3	1,5	0,6	269,5	0,92	0,42
3	92,0	1,8	0,8	403,0	1,21	0,47
4	60,3	1,8	0,8	253,8	1,23	0,42
5	67,7	1,8	0,8	295,7	1,26	0,45
6	79,3	1,7	0,8	334,8	1,14	0,46
7	82,3	1,7	0,9	364,7	1,20	0,49
8	76,7	1,6	0,8	312,1	0,99	0,50
9	67,0	1,6	0,7	263,7	1,00	0,46
10	79,7	1,6	0,7	315,0	1,03	0,45
11	74,3	1,5	0,7	276,2	0,89	0,46
12	65,7	1,6	0,7	257,1	0,96	0,47
13	82,0	1,8	0,8	356,8	1,37	0,41
14	72,3	1,6	0,7	289,1	1,04	0,46
15	89,3	1,6	0,7	338,1	0,97	0,44
16	80,7	1,6	0,7	308,9	1,00	0,43
17	78,0	1,6	0,7	299,4	1,00	0,43
18	76,3	1,4	0,7	275,2	0,80	0,48
19	62,3	1,7	0,8	268,2	1,12	0,49
20	87,0	1,7	0,8	369,6	1,19	0,45
21	66,3	1,6	0,7	249,1	0,95	0,44
22	77,7	1,6	0,7	307,5	1,04	0,45
23	66,7	1,7	0,8	275,0	1,14	0,44
24	77,7	2,0	0,8	353,2	1,50	0,40
25	83,0	1,5	0,6	281,6	0,92	0,36
26	74,3	1,7	0,7	286,9	1,07	0,41

Результати визначення розмірів центрального циліндра хвоїнок засвідчили, що його середня ширина дорівнювала $1,1 \pm 0,01$ мм, а висота – $0,3 \pm 0,03$ мм. Відношення висоти центрального циліндра до його ширини визначало індекс форми центрального циліндра.

Таблиця 2

Кількість смоляних каналів і розміри центрального циліндра дворічної хвої сосни звичайної

№ дерева	Смоляні канали, шт.			Центральний циліндр (ц. ц.), мм			Відстань між провідними пучками в ц. ц.
	плескатий бік	опуклий бік	загалом	ширина	висота	індекс форми	
1	4,7	10,3	15,0	1,16	0,39	0,33	0,27
2	4,0	9,0	13,0	0,99	0,25	0,26	0,26
3	3,7	8,7	12,3	1,16	0,34	0,3	0,29
4	7,0	13,3	20,3	1,17	0,31	0,27	0,45
5	7,3	13,0	20,3	1,31	0,35	0,26	0,45

Закінчення табл. 2

№ дерева	Смоляні канали, шт.			Центральний циліндр (ц. ц.), мм			Відстань між провідними пучками в ц. ц.
	плескатий бік	опуклий бік	загалом	ширина	висота	індекс форми	
6	4,3	9,7	14,0	0,99	0,31	0,31	0,24
7	5,0	10,3	15,3	1,06	0,32	0,3	0,25
8	3,0	8,7	11,7	1,00	0,30	0,31	0,24
9	4,7	10,3	15,0	1,09	0,27	0,25	0,33
10	4,7	8,7	13,3	1,09	0,31	0,29	0,32
11	4,0	8,3	12,3	0,99	0,29	0,29	0,28
12	3,3	10,7	14,0	0,97	0,28	0,29	0,23
13	4,7	9,7	14,3	1,21	0,31	0,28	0,31
14	4,0	8,3	12,3	1,01	0,32	0,32	0,30
15	4,3	9,7	14,0	1,00	0,28	0,28	0,27
16	3,0	7,7	10,7	0,93	0,28	0,3	0,22
17	2,7	7,7	10,3	0,96	0,28	0,29	0,24
18	3,7	8,7	12,3	0,96	0,28	0,3	0,26
19	3,3	9,0	12,3	1,07	0,32	0,3	0,28
20	4,7	8,7	13,3	1,15	0,31	0,27	0,33
21	4,3	9,0	13,3	1,00	0,27	0,27	0,31
22	3,0	8,0	11,0	1,00	0,31	0,31	0,25
23	7,0	13,7	20,7	1,15	0,31	0,27	0,41
24	5,0	10,3	15,3	1,33	0,30	0,22	0,50
25	3,3	8,3	11,7	1,09	0,29	0,27	0,28
26	4,0	7,7	11,7	1,02	0,28	0,27	0,31

Відносний показник (індекс) варіював у зразках від 0,22 до 0,33 і в середньому дорівнював $0,28 \pm 0,004$ ($C_v = 7,9$ %). Співвідношення цього показника та індексу форми поперечного перерізу (0,45) становило 63 %. Згідно з даними, наведеними В. М. Яценко (Yatsenko 1965) для умов Північного Уралу, показник індексу форми центрального циліндра – 0,41, а його частка від індексу форми поперечного перерізу – 82 %. Саме цей показник може виявитися маркерним на мікропопуляційному рівні.

Середня відстань між провідними пучками в центральному циліндрі становила $0,3 \pm 0,07$ мм (або 303,47 мк). Значення коефіцієнта варіації – 24 %, що свідчить про підвищений рівень мінливості показника, тому він не може бути маркерною ознакою.

Отже, диференціювальними анатомо-морфологічними показниками ми вважаємо: довжину хвої та площу поперечного перерізу, ширину хвої та ширину центрального циліндра, меншою мірою – загальну кількість смоляних каналів, відношення індексів форми центрального циліндра до поперечного перерізу.

Для досліджених показників визначено коефіцієнти лінійної парної кореляції Пірсона (табл. 3). Із 50 коефіцієнтів кореляції у 30 % випадків зв'язок виявився статистично значущим.

Таблиця 3

Кореляційні зв'язки анатомо-морфологічних показників хвої дерев сосни звичайної

Показник	Довжина хвої	Ширина хвої	Товщина хвої	Площа поверхні хвоїнки	Площа поперечного перерізу	Індекс форми поперечного перерізу
Ширина хвоїнки	0,05	–	–	–	–	–
Товщина хвоїнки	-0,03	0,66	–	–	–	–

Закінчення табл. 3

Показник	Довжина хвої	Ширина хвої	Товщина хвої	Площа поверхні хвоїнки	Площа поперечного перерізу	Індекс форми поперечного перерізу
Площа поверхні хвоїнки	0,83	0,54	0,49	–	–	–
Площа поперечного перерізу хвоїнки	0,06	0,99	0,65	0,54	–	–
Індекс форми поперечного перерізу	-0,13	-0,17	0,62	0,06	-0,19	–
Кількість смоляних каналів на опуклому боці хвоїнки	-0,48	0,44	0,37	-0,16	0,43	0,04
Загальна кількість смоляних каналів	-0,44	0,48	0,36	-0,11	0,47	-0,02
Ширина центрального циліндра хвоїнки	-0,02	0,80	0,45	0,34	0,80	-0,24
Товщина центрального циліндра хвоїнки	0,12	0,44	0,60	0,41	0,42	0,31
Відстань між провідними пучками в центральному циліндрі	-0,34	0,65	0,24	-0,03	0,65	-0,32

Примітка: Грубим шрифтом виділено статистично значущі за t -критерієм значення ($P = 95\%$).

Найтісніший зв'язок виявлено між шириною хвоїнки та площею поперечного перерізу ($r = 0,99$), між довжиною та площею поверхні хвоїнки ($r = 0,83$), між шириною (також площею поперечного перерізу) та шириною центрального циліндра ($r = 0,80$). Графічне зображення лінійного зв'язку подано на рисунку 3 ($\alpha = 0,05$, $df = 24$).

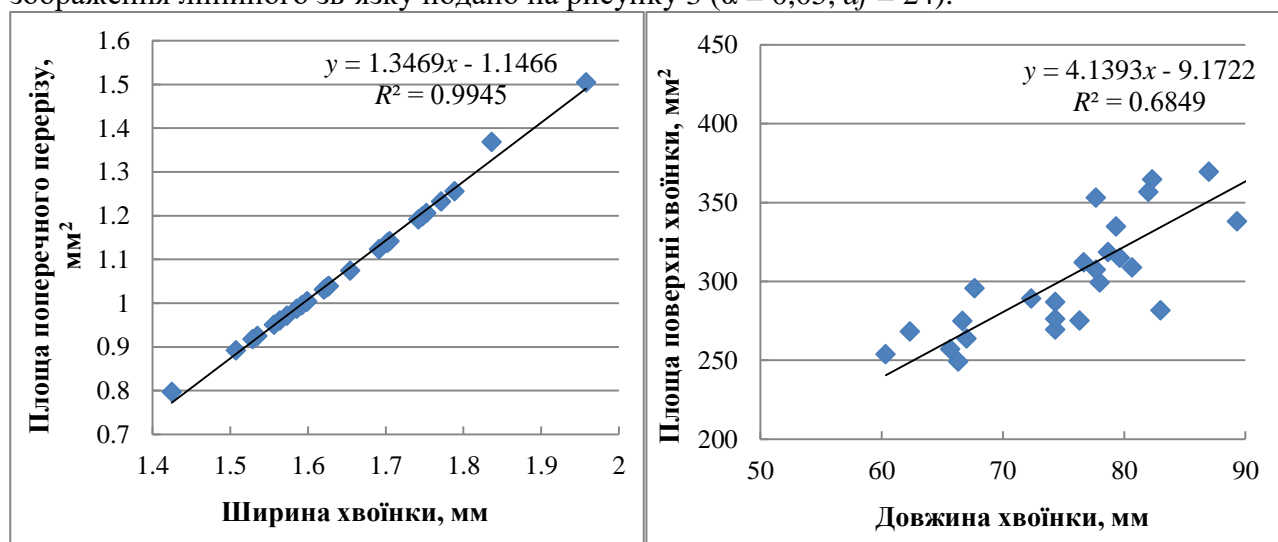


Рис. 3 – Діаграми розсіювання та рівняння парної лінійної регресії морфо-анатомічних показників хвої дерев сосни звичайної

Взаємозв'язок між площею поперечного перерізу та шириною хвоїнки виявився високим: 99,45 % загального варіювання площі поперечного перерізу пояснюється зміною ширини хвоїнки (див. табл. 2). Визначено, що у 68,5 % випадків зміни довжини хвоїнки зумовлюють зміни площі поверхні хвоїнки. Ще в чотирьох випадках виявлено статистично підтверджений помітний зв'язок, проте гіпотеза про лінійність зв'язків не є правомірною. Для решти п'яти випадків, де значення коефіцієнтів кореляції були статистично значущими ($r = 0,45 \dots 0,54$), взаємозв'язки не підтверджено, точність отриманих рівнянь регресії є низькою.

Отже, отримані маркерні показники та статистично підтверджені взаємозв'язки (між шириною хвоїнки та площею її поперечного перерізу, шириною хвоїнки та шириною центрального циліндра, довжиною хвоїнки та площею її поверхні) надалі можуть бути

використані під час дослідження особливостей адаптації індивідуумів сосни звичайної до нових умов росту. Доцільно також використовувати їх для ідентифікації індивідів та популяцій сосни звичайної.

Висновки. Виявлено, що різниця між довжиною хвої різного віку дерев сосни звичайної в умовах свіжого субору не пов'язана з погодними умовами під час її росту. Водночас хвоя однорічного віку є коротшою за дво- та трирічну. Варіювання більшості морфолого-анатомічних показників хвої відповідає низькому та середньому рівням, а показника відстані між провідними пучками в центральному циліндрі – підвищеному.

До морфолого-анатомічних ознак хвої, які диференціюють дерева, віднесено: довжину та площу поперечного перерізу, ширину хвоїнки та її центрального циліндра, кількість смоляних каналів. Визначено рівняння та підтверджено істотність лінійної регресії зв'язків між шириною хвоїнки та площею поперечного перерізу ($r = 0,99$); довжиною та площею поверхні хвоїнки ($r = 0,83$); шириною хвоїнки, площею поперечного перерізу та шириною центрального циліндра ($r = 0,80$).

Зроблено припущення про можливість використання як маркера мікропопуляційного рівня відношення індексу форми центрального циліндра до індексу форми поперечного перерізу хвої. Індекс форми поперечного перерізу дворічної хвої надалі доцільно перевірити як маркерну ознаку хвої мікропопуляцій.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- Bazylevych, N. Y., Tytlianova, A. A., Smyrnov, V. V., Rodyn, L. E., Nechaeva, N. T., Levyn, F. Y. 1978. Methods for studying the biological cycle in various natural zones. Moscow, Mysl, 183 p. (in Russian).
- Besschetnova, N. N., Besschetnov, V. P., Ornatykyj, A. N. 2012. Parameters of needles of Scots pine plus trees (*Pinus sylvestris* L.) on forest seed plantations in the Nizhny Novgorod Region [Electronic resource]. Aktualnye problemy lesnogo kompleksa, 31. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/parametry-hvoi-plyusovyh-dereviev-sosny-obyknovennoy-pinus-sylvestris-l-na-lesosemennyh-plantatsiyah-nizhegorodskoy-oblasti> (accessed 20.10.2020) (in Russian).
- Bessonova, V. and Iusypiva, T. 2018. Morpho-anatomical parameters of the needles of *Pinus pallasi* D. Don. in the antierosion afforestation. Ukrainian Journal of Ecology, 8(1): 851–858.
- Bongard-Pierce, D. K., Evans, M. M. S., Poethig, R. S. 1996. Heteroblastic features of leaf anatomy in maize and their genetic regulation. International Journal of Plant Science, 157: 331–340. DOI: 10.1086/297353.
- Bronnikova, D. M. and Shakhriyeva, N. V. 2016. Temporal variability of the morphological characters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles. Molodoy uchenyy, 26(130): 162–165 (in Russian).
- Dyshko, V. A. and Torosova, L. O. 2017. Morphological and anatomical characteristics of needles of natural and synthetic Scots pine's progenies in the variety test. Forestry and Forest Melioration, 131: 78–86 (in Ukrainian).
- Galdina, T. and Khazova, E. 2019. Adaptability of *Pinus sylvestris* L. to various environmental conditions. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 316: 012002. DOI: 10.1088/1755-1315/316/1/012002.
- Gebauer, R., Plichta, R., Bednárová, E., Foit, J., Cermák, V., Urban, J. 2017. How timing of stem girdling affects needle xylem structure in Scots pine. European Journal of Forest Research, 14: 68. DOI: 10.1007/s10342-017-1090-z.
- Gebauer, R., Plichta, R., Foit, J., Cermák, V., Urban, J. 2018. Long-term effects of stem girdling on needle structure in Scots pine. Forest – Biogeosciences and Forestry, 11(4): 476–481. <https://doi.org/10.3832/for2648-011>.
- Jankowski, A., Wyka, T. P., Zytowski, R., Nihlgård, B., Reich, P. B., Oleksyn, J. 2017. Cold adaptation drives variability in needle structure and anatomy in *Pinus sylvestris* L. along a 1,900 km temperate – boreal transect. Functional Ecology, 31: 2212–2223. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12946>.
- Keng, H. and Litl, E. L. 1961. Needle Characteristics of Hybrid Pines. Silvae Genet., 10: 131–146.
- Kivimäenpää, M., Sutinen, S., Valolahti, H., Häikiö, E., Riikonen, J., Kasurinen, A., Ghimire, R. P., Holopainen, J. K., Holopainen, T. 2017. Warming and elevated ozone differently modify needle anatomy of Norway spruce (*Picea abies*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*). Canadian Journal of Forest Research, 47(4): 488–499. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0406>.
- Kuzmin, S. R., Kuzmina, H. A., Milyutin, L. Y., Muratova, E. H. 2004. Intraspecific variability of the morphological characteristics of Scots pine needles in the provenance trial of the Angara Region. Tomsk State University Journal, 10: 41–44 (in Russian).
- Lebedev, A. H. 2014. The analysis of variability of needle quantitative characteristics in the Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) populations. Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 16(5): 205–209 (in Russian).
- Lin, J., Jach, M. E., Ceulemans, R. 2001. Stomatal density and needle anatomy of Scots pine (*Pinus sylvestris*) are affected by elevated CO₂. New Phytologist, 150: 665–674.
- Mamaev, S. A. 1973. Forms of intraspecific variability of woody plants (on the example of the *Pinaceae* family in the Urals). Moscow, Nauka, 283 p. (in Russian).

Neverova, O. A. Lehoschyna, O. M., Zokyrov P. C. 2012. Changes in the anatomical parameters of *Pinus eldarica* Ten. needles growing in the highway planting in Khojend. [Electronic resource]. Modern Problems of Science and Education, 4. Available at: <http://www.science-education.ru/104-6676> (accessed 20.10.2020) (in Russian).

Osadchuk, L. S. 2013. Morphological and anatomical indicators of pine needles in the trees of different categories of resin productivity. Scientific Bulletin of UNFU, 23.8: 18–22 (in Ukrainian).

Pashkevych, N. A. 2007. Anatomical and morphological variability of needles of *Pinus* L. species in Ukraine. Extended abstract of PhD thesis. Kyiv, 22 p. (in Ukrainian).

Petrov, S. A. 1990. About genotypic conditioning of phenes in populations of forest woody plants. In: Phenetics of natural populations. Proceeding of 4th All-Union Conference. Moscow, Institute of Development Biology, USSR Academy of Sciences, p. 214–215 (in Russian).

Weather and climate. Weather Archives. 2020. [Electronic resource]. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/archive.php> (accessed 20.10.2020) (in Russian)

Prokazin, E. P. and Bonn, L. A. 1976. Genetic conditioning of individual variability of Scots pine. Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal), 2: 162–164 (in Russian).

Reich, P.B., Oleksyn, J., Modrzyński, J., Tjoleker, M. G. 1996. Evidence that longer needle retention of spruce and pine populations at high elevations and high altitudes is largely a phenotypic response. Tree Physiology, 16: 643–647.

Soboleva, S. V., Pochekutov, Y. S., Chentsova, L. Y. 2018. The study of morphologic and physiologic indicators of *Pinus sylvestris* L. plantings in different ecological conditions. The Bulletin of KrasGAU, 1: 199–205 (in Russian).

Tereshchenko, L. I. 2015. Variability of morphological and anatomical features of Scots pine needles. Forestry and Forest Melioration, 127: 98–106 (in Ukrainian).

Tkach, V. P. and Meshkova, V. L. 2019. Modern problems of formation and reproduction of biologically stable pine forests of Ukraine in the conditions of climate change. In: Pine forests: current status, existing challenges and ways forward. Proceedings of International Scientific and Practical Conference, 12–13 June 2019. Kyiv, p. 70–77 (in Ukrainian).

Vidyakin, A. Y. 2004. Scots pine population structure in the east of the European part of Russia. [Популяционная структура сосны обыкновенной на востоке европейской части России]. Extended abstract of PhD thesis. Ekaterynburg, 48 p. (in Russian).

Vidyakin, A. Y. and Lebedev, A. H. 2014. Intrapopulation and interpopulation variability of relative index of the number of resin ducts to needle length of *Pinus sylvestris* L. Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 16(5): 217–220 (in Russian).

Yatsenko, V. M. 1965. Some features in the anatomical structure of Scots pine needles in the Northern Urals. Intraspecific variability of woody plants in the Urals. Introduction and breeding. Proceedings of the Institute of Biology, 47: 67–70 (in Russian).

Zaika, V. K. and Rudenko, A. V. 2012. Morpho-physiological characteristics of Scots pine in the pine forest of Small Polissya. Scientific Bulletin of UNFU, 22.9: 9–14 (in Ukrainian).

Tereshchenko L. I.¹, Gordiyashchenko A. Y.², Samoday V. P.³

VARIABILITY AND RELATIONSHIPS OF MORPHOLOGICAL AND ANATOMICAL CHARACTERISTICS OF SCOTS PINE NEEDLES IN THE FRESH RELATIVELY INFERTILE PINE SITE

¹ Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after H. M. Vysotsky

² Kharkiv National Agrarian University named after V. V. Dokuchayev

³ Krasnotroystyanetske Branch of Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

The aim of the research was to determine markers by which trees can be identified and relationships between morphological and anatomical characteristics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needles, based on the analysis of variability traits in the forest stand of Trostyanets State Forest Enterprise in Sumy Region. Branches with the needles were harvested from the crown middle part of 31 trees in fresh relatively infertile pine site. The correlation, graphical and regression methods were used to determine the relationships between the characteristics. It was found that the variation amplitude in the length of two-year-old needles is 18% higher than that of one-year-old needles. The variation coefficients of the most morphological and anatomical characteristics for the studied trees correspond to low and middle levels of endogenous variability, while that for the spacing between the vascular bundles in central cylinder indicates an increased level of variability. The differentiating anatomical and morphological characteristics of the tree needles involve the length and their cross-sectional area, needle width and central cylinder width, and the number of resin ducts. We assume it is possible to use the relationship of the indexes of the central cylinder shape and the cross-sectional shape of a needle as a micropopulation level marker.

Key words: *Pinus sylvestris* L., needle characteristics, shoots, central cylinder, markers, resin ducts.

E-mail: tel@uriffm.org.ua

Одержано редколегією 06.11.2020