

## Warunki środowiskowe sprzyjające występowaniu trufli (*Tuber* spp.) na historycznych stanowiskach w Polsce

Environmental conditions that promote the occurrence of truffles (*Tuber* spp.)  
on historical sites in Poland

Aleksandra Rosa-Gruszecka<sup>1\*</sup>, Dorota Hilszczańska<sup>2</sup>, Hanna Szmidla<sup>1</sup>

Institut Badawczy Leśnictwa, <sup>1</sup>Zakład Ochrony Lasu, <sup>2</sup>Zakład Ekologii Lasu, ul. Braci Leśnej 3, Sękocin Stary, 05-090 Raszyn

\*Tel. +48 22 7150353, fax: +48 22 7150504, e-mail: A.Rosa@ibles.waw.pl

**Abstract.** This article highlights historical data regarding truffles' occurrence in Poland. Along with the soil parameters the plant communities at the sites were studied. The results of the chemical soil analyses showed that the soil water pH at 5 sites was acidic (from 4.3 to 6.1), and only in one, Wiązowna, was the pH (7.2) conducive to truffle development. Similarly, the content of calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) in soil samples was low (from 0 to 0.03 %), except for Wiązowna, where CaCO<sub>3</sub> was 0.12 %. Among the 24 reported species of trees and shrubs, 7 species were host-plants of summer truffle (*Tuber aestivum* Vitt.). Out of these 7 species, oak and hornbeam were present at four locations. Across the sites, 31 species of ground-layer plants were identified. Among these, *Epipactis helleborine* was only one host-species of summer truffle. Our findings indicate that the formation of truffle fruiting-bodies depends on specific habitat characteristics. The key factors determining this process are soil parameters, such as: texture, pH and calcium content. Our inventory showed that the sites we studied still persist as natural stands, although only one of them seems to be favorable for truffle development: this site is located in Wiązowna, where soil is of pH 7.2 and *E. helleborine* (host species for truffles from Orchidaceae) is found, fulfills the environmental requirements of truffles.

**Key words:** truffle, host plants, soil parameters, habitat, historical sites

### 1. Wstęp

Trufle należą do grzybów charakteryzujących się podziemnym (hypogejicznym) trybem życia. Tworzą mykoryzę, symbiozę o charakterze mutualistycznym z wieloma gatunkami drzew i krzewów leśnych, m.in. dębem, bukiem, lipą, grabem, leszczyną. Wysoka wartość kulinarna i handlowa trufli jest efektem charakterystycznego zapachu owocników (Brillant-Savarin 1825). Pierwszą wzmiankę na temat trufli w polskich źródłach pisanych można znaleźć u Czernieckiego (1682). Jest to pierwsza polska książka kucharska, w której autor podaje przepis na „tertofele w popiele”. Kolejne zapisy traktujące o uprawie i własnościach kulinarnych tych

cennych grzybów podziemnych znajdują się w publikacjach z końca XIX i pierwszej połowy XX w. (Aleksandrowicz, Błoński 1894; Gawarecki 1895; Spausta 1897; Swoboda 1928; Dąbrowska 1996).

Jeszcze w latach 40. ubiegłego wieku, mimo bogatej, jak na owe czasy, literatury, występowanie trufli w Polsce było poddawane w wątpliwość (Orłowski 1947). W 1953 r. Lubelska opisała stanowiska występowania *Tuber aestivum* (trufli letniej). Jednakże, brak materiałów zielnikowych nie pozwala na potwierdzenie tożsamości odnotowanych przez autorkę owocników trufli. Kolejnym gatunkiem trufli występującym w Polsce jest *Tuber mesentericum* (trufła wgłębiona), znaleziona i zi-

dentyfikowana przez Ławrynowicz (1999) na jednym stanowisku Wyżyny Krakowsko-Częstochowskiej.

W 2007 r. owocniki *T. aestivum* Vittad. stwierdzone zostały na kilku stanowiskach w Polsce przez Hilszczańską i współautorów (2008). Nie wyklucza się, że owocniki tego grzyba występują w Polsce niemniej licznie niż np. owocniki *Boletus*, jednak z uwagi na hypogeiczny rozwój grzyba (owocniki zwykle znajdują się w glebie na głębokości ok. 10 cm), jak również na brak tradycji zbioru dla celów kulinarnych są gatunkiem mało znanym.

Celem badań była ocena historycznych stanowisk *Tuber* spp. na podstawie parametrów glebowych i bogactwa gatunkowego roślinności w aspekcie warunków środowiskowych sprzyjających rozwojowi trufli.

## 2. Materiały i metody

Na podstawie danych historycznych przeprowadzono analizę środowiskową dawnych stanowisk trufli. Zebrano informacje dotyczące geologii terenu, składu gatunkowego, wieku i historii drzewostanów. Wybrano 6 lokalizacji w centralnej części kraju (tab. 1), kryterium wyboru była obecność drzew i krzewów wchodzących z trufkami w symbiozę mykoryzową. Współrzędne geograficzne badanych powierzchni nie są podane w publikacji z uwagi na potencjalne zagrożenie, jakim może być np. nadmierna penetracja stanowisk. Pięć spośród wybranych powierzchni ma charakter leśny i są użytkowane gospodarczo. Jedynie lokalizacja „Wią-

zowna” jest pozostałością ogrodu truflowego uprawianego przed II wojną światową. Działalność człowieka na tej powierzchni jest ograniczona, ale znaczący wpływ na skład gatunkowy dawnej plantacji wywiera naturalna sukcesja roślinności.

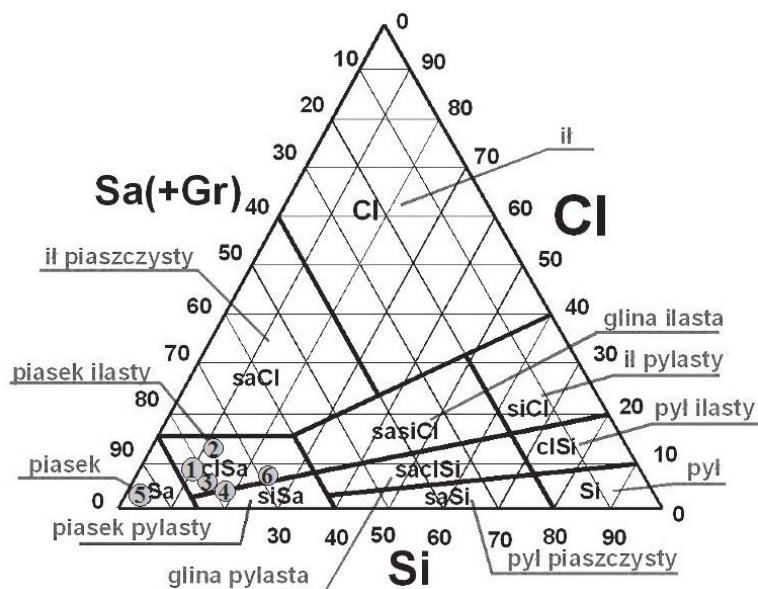
Od końca czerwca do połowy lipca 2012 r. kolejno na każdej z lokalizacji przeprowadzono poszukiwania owocników trufli z psem tropiącym rasy Lagotto romagnolo. Następnie założono kwadratową powierzchnię próbną o boku 10 m. Sporządzono listę wszystkich gatunków drzew i krzewów, a także roślin runa obecnych na wyznaczonej powierzchni (100 m<sup>2</sup>). Wskazano potencjalnych partnerów mykoryzowych trufli letniej (tab. 3). Z centralnej części powierzchni usunięto warstwę ściółki i roślinność, a następnie pobrano około 0,5 kg gleby do głębokości 30 cm w celu zbadania składu chemicznego i tekstury. Analiza frakcji granulometrycznych gleby została wykonana zgodnie z normą PN ISO 11277 (2005). Gleby sklasyfikowano wg normy PN-EN ISO 14688-2 (2005) (ryc. 1).

Oznaczono pH gleby na podstawie normy PN-ISO 10390 (1997). Zawartość węgla wapnia określono metodą Scheiblera (ISO 10693 1994). Procent N ustalono wg metody PN-ISO 13878 (2002), natomiast udział C badano zgodnie z PN-ISO 10694 (2002). Zawartość podstawowych składników pokarmowych analizowano wg procedury badawczej PB-14 ed. 2 z dnia 01.01.2010. Analizy wykonano w Polskim Centrum Akredytacji nr AB740. Charakterystykę chemiczną gleby porównywano z wynikami z pięciu opisanych współcześnie stanowisk *Tuber aestivum* w Polsce (Hilszczańska 2008).

**Tabela 1. Charakterystyka badanych stanowisk historycznych *Tuber* spp.**

Table 1. Characteristics of *Tuber* spp. historical sites

Lp. Plot No	Stanowisko Site	Położenie Location	Typ powierzchni (leśna/plantacja) Type (forest/plantation)	Wysokość n.p.m (m) Altitude (m)	Data inwentaryzacji Date of inventory	Literatura źródłowa References	Gatunek trufli <i>Tuber</i> species
1	Skuły	Wysoczyzna Rawska Rawa Plateau	powierzchnia leśna forest stand	189	28.06.2012	Ławrynowicz 1988	<i>Tuber rufum</i>
2	Wiązowna	Równina Garwolińska Garwolin Plain	plantacja założona przed II wojną światową plantation established before World War II	149	09.07.2012	Dąbrowska 1996	<i>Tuber</i> sp.
3	Maciejowice 1	Wysoczyzna Żelechowska Żelechów Plateau	powierzchnia leśna forest stand	143	09.07.2012	Aleksandrowicz i Błoński 1894	<i>Tuber aestivum</i>
4	Maciejowice 2	Wysoczyzna Żelechowska Żelechów Plateau	powierzchnia leśna forest stand	130	09.07.2012	Aleksandrowicz i Błoński 1894	<i>Tuber aestivum</i>
5	Kępa Solecka	Kotlina Chodelska Chodel Basin	powierzchnia leśna forest stand	127	10.07.2012	Aleksandrowicz i Błoński 1894	<i>Tuber aestivum</i>
6	Tuszyn	Wzniesienia Łódzkie Łódź Plateau	powierzchnia leśna forest stand	205	11.07.2012	Spausta 1897	<i>Tuber</i> sp.



Rycina 1. Klasyfikacja granulometryczna gleb z 6 stanowisk historycznych występowania truflí – trójkąt (za Tarnawski et al. 2011, zmodyfikowane). Cyfry od 1 do 6 wskazują lokalizacje oznaczone w tabeli 1.

Figure 1. Soil texture diagram of 6 truffle historical sites – the triangle (according to Tarnawski et al. 2011, altered). Numbers 1 – 6 indicate location depicted in Table 1.

### 3. Wyniki

Po przeprowadzeniu poszukiwań z psem tropiącym nie stwierdzono obecności owocników truflí na żadnej z badanych powierzchni. Wyniki badań właściwości chemicznych i struktury gleb przedstawiono w tabeli 2. Gleby badanych powierzchni były bardzo zróżnicowane

pod względem pH. Odczyn gleby na powierzchniach w Skułach i Kępie Soleckiej był silnie kwaśny, a w Maciejowicach 1 – kwaśny. Wyższe pH stwierdzono w Maciejowicach 2 i Tuszynie, odpowiednio 6,1 i 6,0. Jedyne na powierzchni Wiązowna wykazano odczyn gleby na granicy obojętnego i zasadowego (7,2). Zawartość węgla wapnia w analizowanych próbkach glebowych wy-

Tabela 2. Parametry gleby z historycznych stanowisk *Tuber* spp.

Table 2. Overview of the soil composition at the *Tuber* spp. historical sites

Parametry Measured parameter	Powierzchnia badawcza Site						
	Skuły	Wiązowna	Maciejowice 1	Maciejowice 2	Kępa Solecka	Tuszyn	
Fracje granulometryczne (%) Soil particle size fractions (%)	ilasta / clay	8,87	11,89	7,77	5,65	3,73	8,71
	pylasta / silt	11,52	11,35	13,41	16,50	2,68	23,94
	piaszczysta / sand	79,61	76,76	78,82	77,85	94,59	67,35
pH H <sub>2</sub> O / Water pH	4,3	7,2	5,1	6,1	4,4	6,0	
CaCO <sub>3</sub> całkowity / CaCO <sub>3</sub> total (%)	0,00	0,12	0,00	0,03	0,00	0,03	
Ca (%)	0,030	0,490	0,090	0,160	0,010	0,110	
P (%)	0,012	0,043	0,036	0,021	0,009	0,023	
Fe (%)	0,110	0,790	0,530	0,250	0,090	0,550	
Mg (%)	0,070	0,150	0,060	0,050	0,010	0,110	
K (%)	0,110	0,100	0,100	0,080	0,030	0,150	
Ca/Mg	0,43	3,27	1,50	3,20	1,00	1,00	
K/Mg	1,57	0,67	1,67	1,60	3,00	1,36	
C całkowity (%) / C total (%)	1,156	3,840	1,996	2,480	0,627	2,140	
C organiczny (%) / C organic (%)	1,156	3,826	1,996	2,476	0,627	2,136	
N całkowity (%) / N total (%)	0,087	0,351	0,176	0,177	0,050	0,177	
C/N	13,30	10,90	11,30	14,00	12,50	14,00	

nosiła od 0 do 0,03%, z wyjątkiem stanowiska w Wiązownie, gdzie udział  $\text{CaCO}_3$  wyniósł 0,12%.

W porównaniu do powierzchni leśnych, również udział Ca, Mg i K oraz pierwiastków kwasotwórczych (P i Fe) był wyraźnie wyższy na dawnej plantacji. Wykazano, że zawartość kationów fosforu jedynie na powierzchniach w Maciejowicach 1 i w Wiązownie przekraczała 0,03%. Na wszystkich stanowiskach, z wyjątkiem Kępy Solecckiej, zawartość kationów potasu wynosiła od 0,08–0,15%.

Stosunek wapnia do magnezu w glebie wynosił od 0,43 (Skuły) do 3,27 (Wiązowna). Proporcja potasu do magnezu nie przekraczała wartości 3,5, osiągając najwyższy poziom w Kępie Solecckiej – 3,00, najniższy zaś w Wiązownie – 0,67.

Zawartość węgla i azotu w badanych glebach była najniższa w Kępie Solecckiej (C – 0,627%; N – 0,087%) oraz Skułach (C – 1,156%; N – 0,050%), a najwyższa w Wiązownie (C – 3,840%; N – 0,351%). Stosunek węgla

do azotu mieścił się w przedziale od 10,9 dla powierzchni w Wiązownie do 14,0 dla powierzchni w Tuszynie i Maciejowicach 2. Dokonano podziału gleb zgodnie z trójkątem ISO „Krajowym”, wg którego glebę z Wiązowny, Skuł, Tuszyna i Maciejowic 1 zakwalifikowano do piasków ilastych (clSa), z Maciejowic 2 do piasków pylastych (siSa), zaś z Kępy Solecckiej do piasków (Sa) (ryc. 1).

Wśród 24 gatunków drzew i krzewów wykazanych ogółem na wszystkich powierzchniach, 7 to gatunki tworzące symbiozę mykoryzową z truflą letnią. Najczęściej spotykane były dąb szypułkowy i grab zwyczajny, obecne na czterech stanowiskach. Leszczyna pospolita i lipa drobnolistna występowały na trzech stanowiskach (tab. 3). Wśród pozostałych drzew i krzewów, będących potencjalnymi partnerami dla trufli, stwierdzono występowanie buka oraz dwóch gatunków iglastych: sosny zwyczajnej i świerka pospolitego. Zidentyfikowano również 31 gatunków roślin runa, wśród nich jednego

**Tabela 3. Lista gatunków roślin stwierdzonych na powierzchniach badawczych. Rośliny – gospodarze trufli letniej (*T. aestivum*) wyróżniono w ramkach**

Table 3. Plant species recorded on the studied plots of *Tuber* spp. historical sites. Potential host plants are distinguished in boxes

Gatunki / Species	Skuły	Wiązowna	Maciejowice 1	Maciejowice 2	Kępa Solecka	Tuszyn
<b>Drzewa i krzewy / Tree and shrubs</b>						
<i>Abies alba</i>						+
<i>Acer platanoides</i>			+			
<i>Acer pseudoplatanus</i>	+					
<i>Aesculus hippocastanum</i>			+			
<i>Alnus glutinosa</i>	+		+			
<i>Betula pendula</i>	+		+			
<i>Carpinus betulus</i>	+		+	+		+
<i>Cornus sanguinea</i>	+	+				
<i>Corylus avellana</i>		+			+	+
<i>Crataegus monogyna</i>		+				
<i>Fagus sylvatica</i>			+			+
<i>Frangula alnus</i>				+	+	
<i>Fraxinus excelsior</i>	+	+				
<i>Padus avium</i>	+					
<i>Picea abies</i>						+
<i>Pinus sylvestris</i>				+		+
<i>Populus tremula</i>	+	+				
<i>Quercus robur</i>	+		+		+	+
<i>Ribes nigrum</i>		+				
<i>Salix caprea</i>		+				
<i>Sorbus aucuparia</i>					+	
<i>Tilia cordata</i>		+	+	+		
<i>Ulmus glabra</i>	+					
<i>Viburnum opulus</i>	+					
<b>Razem / Total</b>	11	8	8	4	4	6

Gatunki / Species	Skuły	Wiązowna	Maciejowice 1	Maciejowice 2	Kępa Solecka	Tuszyn
<b>Rośliny runa / Plants of the forest floor</b>						
<i>Aegopodium podagraria</i>		+	+			
<i>Anemone nemorosa</i>	+				+	
<i>Asarum europaeum</i>	+					
<i>Athyrium filix-femina</i>			+	+		
<i>Campanula latifolia</i>		+				
<i>Convallaria majalis</i>	+			+		+
<i>Epipactis helleborine</i>		+				
<i>Equisetum arvense</i>		+				
<i>Galeobdolon luteum</i>	+		+			
<i>Galium aparine</i>		+				
<i>Galium sylvaticum</i>					+	
<i>Geum urbanum</i>		+				
<i>Glechoma hederacea</i>		+				
<i>Hepatica nobilis</i>	+					+
<i>Hypericum perforatum</i>					+	
<i>Impatiens noli-tangere</i>			+		+	+
<i>Lathyrus sylvestris</i>				+		
<i>Lysimachia nummularia</i>		+				
<i>Maianthemum bifolium</i>				+	+	+
<i>Melittis melissophyllum</i>	+			+		
<i>Oxalis acetosella</i>				+		+
<i>Polygonatum odoratum</i>			+	+		
<i>Polygonum persicaria</i>					+	
<i>Pulmonaria obscura</i>		+				
<i>Ranunculus cassubicus</i>	+					
<i>Rubus</i> sp.		+			+	+
<i>Solidago</i> sp.		+				
<i>Stellaria holostea</i>	+					
<i>Vaccinium myrtillus</i>						
<i>Viola reichenbachiana</i>	+			+		+
<i>Viola riviniana</i>	+					
<b>Razem / Total</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>7</b>

symbionta trufli – kruszczyka szerokolistnego (*Epipactis helleborine*). Ogółem, na poziomie florystycznym, największe bogactwo gatunkowe wykazano na powierzchni Skuły (21 gatunków) i Wiązowna (19 gatunków), najmniejsze zaś na powierzchni Kępa Solecka (11 gatunków).

#### 4. Dyskusja

Rozwój grzybów należących do rodzaju *Tuber*, a szczególnie faza owocnikowania, jest wciąż słabo poznany, głównie ze względu na podziemny przebieg tego procesu. Tworzenie się owocników może zachodzić dzięki pozostawianiu trufli w związku symbiotycznym z

niektórymi roślinami i tylko w szczególnych warunkach siedliskowych (Stobbe et al. 2012). Poza roślinnością kluczową rolę w rozwoju trufli odgrywa gleba, jej struktura, odczyn i zasobność w kationy wapnia to podstawowe czynniki determinujące występowanie tych grzybów (Chevalier 2012).

W glebie z badanych powierzchni historycznych stwierdzono niezwykle niską zawartość wapnia, jedynie w przypadku stanowiska w Wiązownie udział tego pierwiastka kształtował się w dopuszczalnym dla rozwoju trufli zakresie wartości. Taki wynik każe postawić pytanie, czy grzyby w przeszłości odnotowane jako trufle, rzeczywiście należały do rodzaju *Tuber*. Kolejnym czynnikiem pogłębiającym wątpliwość jest odczyn podłoża. Z porównania wartości pH gleby badanych

stanowisk do wartości jakie ma odczyn gleby na współczesnych stanowiskach *T. aestivum* (Hilszczańska et al. 2008) wynika, że jedynie powierzchnia w Wiązownie charakteryzowała się odpowiednim odczynem gleby (7,2). W Europie owocnikowanie trufli letniej na glebach o pH niższym niż 7 odnotowano dotychczas jedynie na Gotlandii (Wedèn et al. 2004). Należy jednak zaznaczyć, że mimo stosunkowo niskiej wartości pH w glebie stwierdzono podwyższoną zawartość fosforu.

Zawartość kationów fosforu w przedziałach charakterystycznych dla występowania trufli letniej (Hilszczańska et al. 2008) potwierdzono na powierzchniach w Maciejowicach 1 i w Wiązownie. Podobne wyniki uzyskano, analizując zawartość żelaza, poza wymienionymi stanowiskami, jego udział był znacznie niższy od normy uznawanej za korzystną dla rozwoju grzybów rodzaju *Tuber* (Bruhn, Hall 2011). W tym aspekcie po raz kolejny stanowisko w Wiązownie spełniało kryteria korzystne dla rozwoju trufli.

Skład granulometryczny gleby na stanowiskach naturalnych *T. aestivum* jest bardzo zróżnicowany zarówno w Polsce (Hilszczańska et al., dane niepublikowane), jak i w Europie (Wedèn et al. 2004; Garcia-Montero et al. 2008, 2012). W Polsce owocniki trufli letniej znajdowano na glebach „ciężkich”, z udziałem gliny wyższym niż 55%, jak również na glebach „lekkich”, z udziałem piasku powyżej 92,5%. Te ostatnie uważa się za mało sprzyjające rozwojowi trufli. Jednak, jeśli są zasobne w wapń, można na nich z powodzeniem prowadzić uprawę *T. aestivum* (Chevalier, Sourzat 2012). Chociaż gleba ze stanowiska w Wiązownie nie w pełni spełnia stawiane wymagania, to pozostaje jedyną wiarygodną i odpowiednią powierzchnią do hodowli trufli spośród badanych historycznych stanowisk.

Kolejnym czynnikiem determinującym rozwój trufli są zbiorowiska roślinne, przede wszystkim rośliny–gospodarze, tworzące ektomykoryzy z truflą, jak również rośliny niewchodzące z nią w symbiozę. Te ostatnie, jak na przykład *Fraxinus excelsior* czy *Crataegus* spp., kształtują odpowiednie, stymulujące rozwój trufli stosunki powietrzne w glebie. Według Wedèn i in. (2004) jesion (*F. excelsior*), dzięki właściwej dla tego gatunku budowie korony, dobrze wpływa na temperaturę gleby. Natomiast obecność gatunków należących do rodzaju *Crataegus* pozytywnie kształtuje stosunki powietrzne w glebie. Jesion często towarzyszy gatunkom, które są podstawowymi gospodarzami grzybów truflowych, takim jak: *Quercus robur*, *Corylus avellana*, *Fagus sylvatica*, *Carpinus betulus* i *Tilia cordata*. Owocniki *T. aestivum* często znajdowano w jego sąsiedztwie (Gazo et al. 2005). Spośród badanych stanowisk obecność jesionu stwierdzono w dwóch, tj. Wiązownie i Skułach.

Na powierzchni w Wiązownie odnotowano najwyższą liczbę gatunków runa (11) w porównaniu do pozo-

stałych powierzchni (tab. 3). Występowanie w zbiorowisku roślinności runa *Epipactis helleborine*, storczyka, który jest jednym z symbiontów mykoryzowych trufli letniej (Selosse et al. 2004) potwierdza odpowiednie dla tego grzyba warunki siedliskowe.

## 5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały istnienie nielicznych półnaturalnych zbiorowisk roślin leśnych, sprzyjających rozwojowi grzybów rodzaju *Tuber* spp. w rejonach ich historycznego występowania. Analizy gleb na powierzchniach o potencjalnie korzystnej szacie roślinnej wykazały jednak, że skład chemiczny i struktura gleby odbiegają znacząco od charakterystyk glebowych znanych ze współczesnych stanowisk tych grzybów.

Najkorzystniejsze do rozwoju trufli warunki środowiskowe występują w Wiązownie. Ostatnie dane o odnajdywaniu owocników na tej powierzchni pochodzą z końca lat 40. ubiegłego wieku. Niewykluczone, że owocniki trufli wciąż występują, jednak z uwagi na nieuregulowany stan prawny własności nie prowadzi się regularnych badań.

## Podziękowania

Badania przeprowadzono dzięki grantom finansowanym przez: NCN, nr NN 309 426438 i PGLLP, nr OR-2717/19/11, nr 240309.

## Literatura

- Aleksandrowicz J., Błoński F. 1894. Encyklopedia Rolnicza, t. 3, 616 s.
- Brillat-Savarin J.A. 1826. Physiologie du goût, ou méditations de gastronomie. Paris, Chez A. Sautelet et C Libraires.
- Bruhn J., Hall M. 2011. Burgundy Black Truffle Cultivation in an Agroforestry Practice. Agroforestry in action, University of Missouri Center for Agroforestry.
- Chevalier G. 2012. Europe, a continent with high potential for the cultivation of the Burgundy truffle (*Tuber aestivum* / *uncinatum*). *Acta Mycologica*, 47(2): 127–132.
- Chevalier G., Sourzat P. 2012. Soils and Techniques for Cultivating *Tuber melanosporum* and *Tuber aestivum* in Europe, w: Edible Ectomycorrhizal Mushrooms. Soil Biology 34 (red. A. Zambonelli, G.M. Bonito ), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, s. 163–190. ISBN 978-3-642-33822-9.
- Czerniecki S. 1682. Compedium Ferculorum albo zebranie potraw. Polish first cookbook. Collegium Columbinum, Kraków, Poland. Szedlowie Jerzy i Mikołaj.
- Dąbrowska M. 1996. Dzienniki powojenne 1945–1949, t. 1. Warszawa, Czytelnik.

- Garcia-Montero L. G., Diaz P., Martin-Fernandez S., Casermeiro M. A. 2008. Soil factors that favour the production of *Tuber melanosporum* carpophores over other truffle species: a multivariate statistical approach. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant science*, 58(4): 322–329.
- Garcia-Montero L. G., Valverde-Asenjo I., Moreno D., Diaz P., Hernando .I, Menta C., Tarasconi K. 2012. Influence of Edaphic Factors on Edible Ectomycorrhizal Mushrooms: New Hypotheses on Soil Nutrition and C Sinks Associated to Ectomycorrhizae and Soil Fauna Using the Tuber Brule Model, in: *Edible Ectomycorrhizal Mushrooms. Soil Biology 34* (red. A. Zambonelli, G.M. Bonito). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, s. 83–105. ISBN 978-3-642-33822-9.
- Gawarecki Z. 1895. Trufle i ich sztuczne pielęgnowanie. Lwów, Poland, Red. "Bartnika Postępowego", 57 s.
- Gazo J., Miko M., Chevalier G. 2005. First results of inventory research on economically important species of truffles (*Tuber*) in the Tribec Mountains. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*, 8(3): 66–71.
- Hilszczańska D., Sierota Z., Palenzona M. 2008. New Tuber species found in Poland. *Mycorrhiza*, 18(4), 223–226.
- ISO 10693. 1994. Soil quality — determination of carbonate content — volumetric method. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- Lubelska B. 1953. O występowaniu trufli (*Tuber* Mich. i *Choiromyces* Vitt.) w Polsce. *Fragmenta Floristica et Geobotanica Polonica*, 1: 87–96.
- Ławrynowicz M. 1999. *Tuber mesentericum*, an interesting species of black truffle in Poland. *Acta Mycologica*, 34(1): 169–172.
- Ławrynowicz M. (oprac.) 1988. Grzyby (Mycota). Warkocze (*Ascomycetes*), jeleniakowe (*Elaphomycetales*), truflowe (*Tuberales*), t. 18. Warszawa-Kraków, Instytut Botaniki PAN, PWN. ISBN 83-01-08005-1.
- Orłóś H. 1947. Czy trufle prawdziwie rosną w Polsce? *Czasopismo ogrodnicze. Organ Związku Rewizyjnego Spółdzielni R.P. I Centrali Gospodarczej Spółdzielni Ogrodniczych R.P. Rok II. Nr 10: 14.*
- PN-ISO 10390. 1997. Soil Quality. Determination of pH. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 15 s.
- PN-ISO 10694. 2002. Soil Quality. Determination of organic and total carbon after dry combustion ("elementary analysis"). International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 12 s.
- PN-ISO 11277. 2005. Soil quality. Determination of particle size distribution in mineral soil material. Method by sieving and sedimentation. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 46 s.
- PN-ISO 13878. 2002. Soil Quality. Determination of total nitrogen content by dry combustion (elemental analysis). International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 10 s.
- PN-EN ISO 14688-2. 2005. Badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 2. Zasady klasyfikowania.
- Selosse M. A., Faccio A., Scappaticci G., Bonfante P. 2004. Chlorophyllous and achlorophyllous specimens of *Epipactis microphylla* (Neottieae, Orchidaceae) are associated with ectomycorrhizal septomycetes, including truffles. *Microbial Ecology*, 47: 416–426.
- Spausta W. 1897. Trufle. *Sylwan*, 15/6,7: 161–167, 201–208.
- Stobbe U., Büntgen U., Sproll L., Tegel W., Egli S., Fink S. 2012. Spatial distribution and ecological variation of re-discovered German truffle habitats. *Fungal Ecology*, 5(5), 591–99.
- Swoboda J. 1928. Użytek z grzybów w gospodarstwie domowym. Miejsce Piastowe, wyd. nakładem autora, Tłocznia Zakładów św. Michała Archanioła.
- Tarnawski M., Sykuła U., Ura M. 2011. Problemy z nazewnictwem gruntów spoistych według normy PN-EN ISO 14688. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 446, 2: 423–428.
- Wedén C., Chevalier G., Danell E. 2004. *Tuber aestivum* (syn. *T. uncinatum*) biotopes and their history on Gotland, Sweden. *Mycological Research*, 108(3): 304–310.

## Wkład autorów

A.R-G. – projekt badań, zbieranie materiałów, interpretacja danych, przygotowanie maszynopisu, przegląd literatury. D.H. – projekt badań, interpretacja danych, przygotowanie maszynopisu, przegląd literatury. H.S. – interpretacja danych, przygotowanie maszynopisu, przegląd literatury.

## Environmental conditions that promote the occurrence of truffles (*Tuber* spp.) on historical sites in Poland

Aleksandra Rosa-Gruszecka<sup>1\*</sup>, Dorota Hilszczańska<sup>2</sup>, Hanna Szmidla<sup>1</sup>

Forest Research Institute, Department of Forest Protection<sup>1</sup>, Department of Forest Ecology<sup>2</sup>,  
ul. Braci Leśnej 3, Sękocin Stary, 05–090 Raszyn, Poland.

\*Tel. +48 22 7150353, fax: +48 22 7150504, e-mail: A.Rosa@ibles.waw.pl

**Abstract.** This article highlights historical data regarding truffles' occurrence in Poland. Along with the soil parameters the plant communities at the sites were studied. The results of the chemical soil analyses showed that the soil pH in water on 5 sites was acidic (from 4.3 to 6.1), and only in one, Wiązowna, was the pH (7.2) conducive to truffles development. Similarly, the content of calcium carbonate (CaCO<sub>3</sub>) in soil samples was low (from 0 to 0.03%), except for Wiązowna, where CaCO<sub>3</sub> was 0.12%. Among the 24 reported species of trees and shrubs, 7 species were host-plants of summer truffle (*Tuber aestivum* Vitt.). Out of the 7 species, oak and hornbeam were present at four localisations. Across the sites, 31 species of ground-layer plants were identified. Among these, *Epipactis helleborine* was only one host-species of summer truffle. Our findings indicate that formation of truffles fruiting-bodies depends on specific habitat characteristics. The key factors determining this process are soil parameters, such as: texture, pH and calcium content. Our inventory showed that the sites we studied still persist as natural stands, although only one of them seems to be favorable for truffles development: this site is located in Wiązowna, where soil is of pH 7.2 and *E. helleborine*, (host species for truffles from Orchidaceae) is found, fulfills the environmental requirements of truffles.

**Key words:** truffle, host plants, soil parameters, habitat, historical sites

### 1. Introduction

Truffles are fungus characterised by underground fruiting bodies (hypogean organism). They create mycorrhiza, a mutualistic symbiosis with many species of forest trees and bushes, for instance with oak, beech, tilia, hornbeam and hazel. The high culinary and commercial value of truffles is because of its characteristic smell of fruiting bodies (Brillant-Savarin 1825). The first mention about truffles in the Polish literature can be found in Czerniecki's book (1682). It is the first Polish cookbook in which the author wrote the recipe for 'tertofele w popiele' (truffles in ash). Other notices about cultivation and culinary properties of the valua-

ble underground fungus can be found in some books published at the end of the 19<sup>th</sup> century and at the beginning of the 20<sup>th</sup> century (Aleksandrowicz, Błoński 1894; Gawarecki 1895; Spausta 1897; Swoboda 1928; Dąbrowska 1996).

Despite rich literature about truffles, truffle occurrence in Poland was questioned until the 1940s (Orłoś 1947). In 1953, Lubelska described sites where *Tuber aestivum* occurred. However, there are no herbarium materials available to confirm the identity of truffle fruiting bodies noticed by Lubelska. *Tuber mesentericum* is another truffle species that occurs in Poland. It was found and identified by Ławrynowicz (1999) at one site in Kraków-Częstochowa Upland.

In 2007, fruiting bodies of *T. aestivum* Vittad. were found by Hilszczańska et al. (2008) at several sites in Poland. It is not excluded that sporocarps of the fungus occur in Poland in large numbers, for instance, fruiting bodies of *Boletus*. However, the species is not known so well due to hypogean growth (fruiting bodies are in the soil, 10 cm under the ground) as well as due to lack of tradition of picking truffles for culinary purposes.

The aim of the research is evaluation of historical sites of *Tuber* spp. on the basis of soil parameters and the diversity of plant communities with regard to environmental conditions that are conducive to truffles' growth.

## 2. Materials and methods

Based on the historical data, environmental analysis of the old sites where truffles formed was performed. Collected information regards geology of the terrain, species composition, the age and history of stands. 6 localisations were chosen in the central part of Poland (Table 1). The occurrence of trees and bushes interacting with truffles in mycorrhiza symbiosis was the criterion for the selection. Geographic coordinates are not included in the publication due to the danger of excessive sites penetration. Five out of six selected sites are forest stands, managed and cultivated. Only Wiązowna site is the former truffle garden, plantation that was cultivated before the World War II. Human activity is limited at the

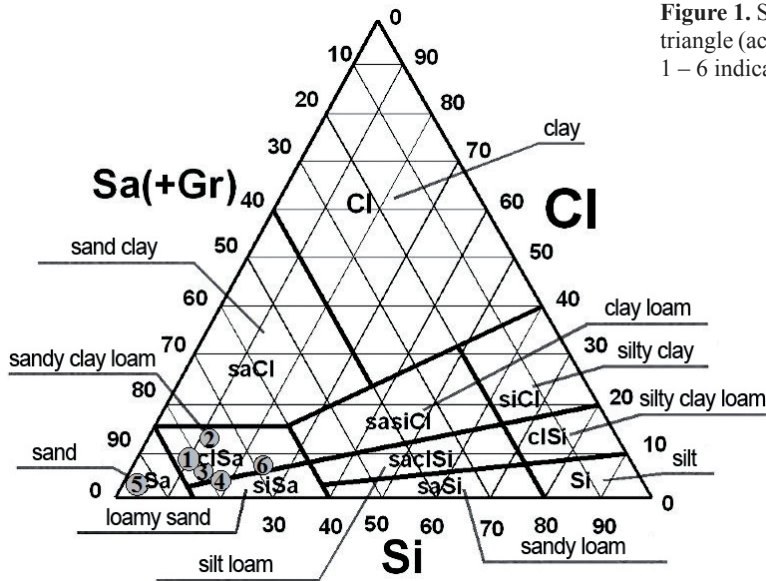
site, but natural succession of plants influences species composition of the former plantation.

From the end of June to the mid-July 2012 hunting for truffle fruiting bodies was conducted at all sites with the help of the scent hound, Lagotto romagnolo. Then, the square test site was established of 10 m long side. The list of all tree and bush species was done, as well as the list of plants in the forest floor within the established site (100 m<sup>2</sup>). Potential mycorrhizal partners of the summer truffle (*Tuber aestivum* Vittad.) were pointed (Table 3). From the central part of the site the forest floor and some plants were removed and the 0.5 kg soil sample (up to 30 cm depth) was taken for further research of the chemical composition and texture of the soil. Soil particle size fractions analysis was done according to standard PN ISO 11277 (2005). Soil was classified according to standard PN-EN ISO 14688-2 (2005) (Fig. 1).

Soil pH was marked on the basis of standard PN-ISO 10390 (1997). Calcium carbonate was estimated by Scheibler method (ISO 10693 1994). The percentage of N was estimated by PN-ISO 13878 (2002) method, and the percentage of C was estimated according to PN-ISO 10694 (2002). The content of basic nutrients was analysed according to the method PB-14 ed. 2 (01.01.2010). Analyses were conducted in the Polish Centre for Accreditation No. AB740. Chemical soil characteristic was compared to results obtained from five sites of *Tuber aestivum* described recently in Poland (Hilszczańska 2008).

**Table 1.** Characteristics of *Tuber* spp. historical sites

Plot No.	Site	Location	Type (forest/plantation)	Altitude (m)	Date of inventory	References	<i>Tuber</i> species
1	Skuły	Rawa Plateau	forest stand	189	28.06.2012	Ławrynowicz (1988)	<i>Tuber rufum</i>
2	Wiązowna	Garwolin Plain	plantation established before World War II	149	09.07.2012	Dąbrowska (1996)	<i>Tuber</i> sp.
3	Maciejowice 1	Żelechów Plateau	forest stand	143	09.07.2012	Aleksandrowicz i Błoński (1894)	<i>Tuber aestivum</i>
4	Maciejowice 2	Żelechów Plateau	forest stand	130	09.07.2012	Aleksandrowicz i Błoński (1894)	<i>Tuber aestivum</i>
5	Kępa Solecka	Chodel Basin	forest stand	127	10.07.2012	Aleksandrowicz i Błoński 1894	<i>Tuber aestivum</i>
6	Tuszyn	Łódź Plateau	forest stand	205	11.07.2012	Spausta 1897	<i>Tuber</i> sp.



**Figure 1.** Soil texture diagram of 6 truffle historical sites – the triangle (according to Tarnawski et al. 2011, altered). Numbers 1 – 6 indicate location depicted in Table 1.

### 3. Results

Hunt with the dog gave no results and truffle fruiting bodies were not found at any site. Results of the chemical analysis and soil texture are presented in Table 2. Soils from researched stands differ significantly with regard to pH. Analyses showed that in Skuły and Kępa Solecka

sites, soil pH was highly acidic, and in Maciejowice 1 site, it was acidic. In Maciejowice 2 and Tuszyn sites, analyses showed higher soil pH – 6.1 and 6.0. Only in Wiązowna site, analyses showed that soil pH was on the verge of alkaline and neutral (7.2). The content of calcium carbonate was 0–0.03% in analysed soil samples with the exception of Wiązowna site – 0.12%  $\text{CaCO}_3$ .

**Table 2.** Overview of the soil composition at the *Tuber* spp. historical sites

Measured parameter	Site						
	Skuły	Wiązowna	Maciejowice 1	Maciejowice 2	Kępa Solecka	Tuszyn	
Soil particle size fractions (%)	clay	8.87	11.89	7.77	5.65	3.73	8.71
	silt	11.52	11.35	13.41	16.50	2.68	23.94
	sand	79.61	76.76	78.82	77.85	94.59	67.35
Water pH	4.3	7.2	5.1	6.1	4.4	6.0	
$\text{CaCO}_3$ total (%)	0.00	0.12	0.00	0.03	0.00	0.03	
Ca (%)	0.030	0.490	0.090	0.160	0.010	0.110	
P (%)	0.012	0.043	0.036	0.021	0.009	0.023	
Fe (%)	0.110	0.790	0.530	0.250	0.090	0.550	
Mg (%)	0.070	0.150	0.060	0.050	0.010	0.110	
K (%)	0.110	0.100	0.100	0.080	0.030	0.150	
Ca/Mg	0.43	3.27	1.50	3.20	1.00	1.00	
K/Mg	1.57	0.67	1.67	1.60	3.00	1.36	
C total (%)	1.156	3.840	1.996	2.480	0.627	2.140	
C organic (%)	1.156	3.826	1.996	2.476	0.627	2.136	
N total (%)	0.087	0.351	0.176	0.177	0.050	0.177	
C/N	13.30	10.90	11.30	14.00	12.50	14.00	

The content of Ca, Mg, K and acidifiers (P and Fe) was significantly higher in the former truffle plantation than in the forest site. The content of phosphorus ions was over 0.03% only in Maciejowice 1 and Wiązowna sites. At all sites, with the exception of Kępa Solecka site, the content of potassium ions was 0.08–0.15%.

Calcium relation to magnesium in soil was from 0.43 (Skuły site) to 3.27 (Wiązowna site). Potassium relation to magnesium does not exceed 3.5. The highest result was in Kępa Solecka site – 3.00, and the lowest in Wiązowna site – 0.67.

The content of carbon and nitrogen in researched soil was the lowest in Kępa Solecka site (C – 0.627%; N – 0.087%) and Skuły site (C – 1.156%; N – 0.050%) and the highest in Wiązowna site (C 3.840%; N – 0.351%). The carbon relation to nitrogen was from 10.9 (Wiązowna site) to 14.0 (Tuszyn and Maciejowice 2 sites).

Soils were divided according to the ISO ‘Krajowy’ triangle. According to the triangle, soil was qualified as loamy sand (clSa) at Wiązowna, Skuły, Tuszyn and Maciejowice 1 sites; as silty sand (siSa) at Maciejowice 2 site; and as sand (Sa) at Kępa Solecka site (Fig. 1).

Among 24 tree and bush species indicated altogether at all sites, 7 species create mycorrhiza symbiosis with the summer truffle. Oak and hornbeam were the most common and were found at four sites. Hazel and tilia were at three sites (Table 3). Among the rest of tree and bush species, which are potential partners for truffles, beech and two conifer species (Scots pine and Norway spruce) were found. Thirty-one species of forest floor plants were identified. Among them, one species – broad-leaved Helleborine (*Epipactis helleborine*) – was symbiotic to truffles. In general, Skuły site (21 species) and Wiązowna (19 species) were the richest with regard

**Table 3.** Plant species recorded on the studied plots of *Tuber* spp. historical sites. Potential host plants are distinguished in boxes.

Species	Skuły	Wiązowna	Maciejowice 1	Maciejowice 2	Kępa Solecka	Tuszyn
Tree and shrubs						
<i>Abies alba</i>						+
<i>Acer platanoides</i>			+			
<i>Acer pseudoplatanus</i>	+					
<i>Aesculus hippocastanum</i>			+			
<i>Alnus glutinosa</i>	+		+			
<i>Betula pendula</i>	+		+			
<i>Carpinus betulus</i>	+		+	+		+
<i>Cornus sanguinea</i>	+	+				
<i>Corylus avellana</i>		+			+	+
<i>Crataegus monogyna</i>		+				
<i>Fagus sylvatica</i>			+			+
<i>Frangula alnus</i>				+	+	
<i>Fraxinus excelsior</i>	+	+				
<i>Padus avium</i>	+					
<i>Picea abies</i>						+
<i>Pinus sylvestris</i>				+		+
<i>Populus tremula</i>	+	+				
<i>Quercus robur</i>	+		+		+	+
<i>Ribes nigrum</i>		+				
<i>Salix caprea</i>		+				
<i>Sorbus aucuparia</i>					+	
<i>Tilia cordata</i>		+	+	+		
<i>Ulmus glabra</i>	+					
<i>Viburnum opulus</i>	+					
Total	11	8	8	4	4	6

Species	Skuły	Wiązowna	Maciejowice 1	Maciejowice 2	Kępa Solecka	Tuszyn
Plants of the forest floor						
<i>Aegopodium podagraria</i>		+	+			
<i>Anemone nemorosa</i>	+				+	
<i>Asarum europaeum</i>	+					
<i>Athyrium filix-femina</i>			+	+		
<i>Campanula latifolia</i>		+				
<i>Convallaria majalis</i>	+			+		+
<i>Epipactis helleborine</i>		⊕				
<i>Equisetum arvense</i>		+				
<i>Galeobdolon luteum</i>	+		+			
<i>Galium aparine</i>		+				
<i>Galium sylvaticum</i>					+	
<i>Geum urbanum</i>		+				
<i>Glechoma hederacea</i>		+				
<i>Hepatica nobilis</i>						+
<i>Hypericum perforatum</i>					+	
<i>Impatiens noli-tangere</i>			+		+	+
<i>Lathyrus sylvestris</i>				+		
<i>Lysimachia nummularia</i>		+				
<i>Maianthemum bifolium</i>				+	+	+
<i>Melittis melissophyllum</i>	+			+		
<i>Oxalis acetosella</i>				+		+
<i>Polygonatum odoratum</i>			+	+		
<i>Polygonum persicaria</i>					+	
<i>Pulmonaria obscura</i>		+				
<i>Ranunculus cassubicus</i>	+					
<i>Rubus sp.</i>		+			+	+
<i>Solidago sp.</i>		+				
<i>Stellaria holostea</i>	+					
<i>Vaccinium myrtillus</i>						
<i>Viola reichenbachiana</i>	+			+		+
<i>Viola riviniana</i>						
Total		11	5	8	7	7

to floral diversity, while Kępa Solecka site (11 species) was the poorest.

#### 4. Discussion

*Tuber* fungus growth, especially during fruiting, is still poorly examined due to the fact that it is the underground process. Fruiting bodies can be formed because of symbiosis between truffles and some plants and only in special

habitat conditions (Stobbe et al. 2012). Besides flora, soil has the key role in truffles' growth. Soil texture, pH and the amount of calcium ions are the basic factors that determine the presence of truffles (Chevalier 2012).

The content of calcium was very low in soil at the researched historical sites. Only in the soil at Wiązowna site, the content of calcium was on the acceptable level for truffles' growth. Thus, one has to verify if fungus registered as truffles in the past was really *Tuber*

sp. Soil pH questions it as well. Comparison between soil pH in the researched sites and soil pH at the present sites of *T. aestivum* (Hilszczańska et al. 2008) shows that only Wiązowna site was characterised by correct soil pH (7.2). In Europe truffles' fruiting in soils of pH lower than 7 was observed only in Gotland (Wedèn et al. 2004). However, in spite of low soil pH, the content of phosphorus was high at Wiązowna site.

The content of phosphorus ions, within the range characteristic for places where summer truffles grow (Hilszczańska et al. 2008), was observed in Maciejowice 1 and Wiązowna sites. Similar results were obtained when the content of iron was analysed. Besides the aforementioned sites, the content of iron was significantly lower than the standard beneficial for *Tuber* fungus growth (Bruhn, Hall 2011). In this regard, Wiązowna site fulfils positive criteria for truffles' growth.

Soil particle size composition at natural site of *T. aestivum* is very diverse both in Poland (Hilszczańska et al., unpublished data) and in Europe (Wedèn et al. 2004; Garcia-Montero et al. 2008, 2012). In Poland, summer truffles fruiting bodies were found both in 'clay' soil, with over 55% of loam, and in 'light' soil, with over 92.5% of sand. The latter claims to be non-beneficial for truffles' growth. However, if sandy soil is rich in calcium, *T. aestivum* can be cultivated in such ground (Chevalier, Sourzat 2012). Although soil from Wiązowna site does not fulfil completely all requirements, it is still the only appropriate site for truffle culture among the researched historical sites.

Plant communities are other factors that determine truffles' growth. They comprise host plants, which create mycorrhiza symbiosis with truffles, and other plants that do not create symbiosis with the fungus. The latter as *Fraxinus excelsior* or *Crataegus* spp. form beneficial air content in soil that stimulates truffles' growth. According to Wedèn et al. (2004), *Fraxinus* (*F. excelsior*), which has special canopy structure, has positive influence on soil temperature, whereas *Crataegus* spp. has positive influence on air content in soil. *Fraxinus* often accompanies species that are basic host plants for truffles, for instance, *Quercus robur*, *Corylus avellana*, *Fagus sylvatica*, *Carpinus betulus* and *Tilia cordata*. *T. aestivum* fruiting bodies have been often found in such neighbourhood (Gazo et al. 2005). Among the researched sites, *Fraxinus* was found at Wiązowna and Skuły sites.

At Wiązowna site, the highest number of forest floor species (11) was registered in comparison to other sites (Table 3). *Epipactis helleborine*, an orchid in the plant community of the forest floor at the site, confirms ben-

eficial habitat conditions for the fungus because orchid is one of the plants that create mycorrhiza symbiosis with summer truffles (Selosse et al. 2004).

## 5. Summary

The research conducted indicated few half-natural forest habitats that can be beneficial for *Tuber* spp. fungus growth at historical sites where fungus used to occur. Soil analyses at sites of potentially beneficial flora showed, however, that chemical composition and soil texture diverge significantly from soil characteristics known from the present sites where truffles were found. The most beneficial environmental conditions for truffles' growth are at Wiązowna site. The last information about discovering truffles fruiting bodies at the site comes from the 1940s. It is conceivable that truffles fruiting bodies can be still found there, but due to unregulated legal status of the estate, no regular research is conducted at the site.

## Acknowledgements

Thanks to the grants financed by NCN (no. NN 309 426438) and PGLLP (no. OR-2717/19/11, no. 240309).

## References

- Aleksandrowicz J., Błoński F. 1894. Encyklopedia Rolnicza, vol. 3, 616 p.
- Brillat-Savarin J.A. 1826. Physiologie du goût, ou méditations de gastronomie. Paris, Chez A. Sautelet et C Libraires.
- Bruhn J., Hall M. 2011. Burgundy Black Truffle Cultivation in an Agroforestry Practice. Agroforestry in action, University of Missouri Center for Agroforestry.
- Chevalier G. 2012. Europe, a continent with high potential for the cultivation of the Burgundy truffle (*Tuber aestivum/uncinatum*). *Acta Mycologica*, 47 (2): 127–132.
- Chevalier G., Sourzat P. 2012. Soils and Techniques for Cultivating *Tuber melanosporum* and *Tuber aestivum* in Europe, in: Edible Ectomycorrhizal Mushrooms. Soil Biology 34 (eds. A. Zambonelli, G. M. Bonito), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 163–190. ISBN 978-3-642-33822-9.
- Czerniecki S. 1682. Compedium Ferculorum albo zebanie potraw. Polish first cookbook. Collegium Columbinum, Kraków, Poland, Szedlowie Jerzy i Mikołaj.
- Dąbrowska M. 1996. Dzienniki powojenne 1945–1949, vol. 1. Warszawa, Czytelnik.
- Garcia-Montero L. G., Diaz P., Martin-Fernandez S., Casermeiro M. A. 2008. Soil factors that favour the production of *Tuber melanosporum* carpophores over other truffle species: a multivariate statistical approach. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant science*, 58 (4): 322–329.

- Garcia-Montero L. G., Valverde-Asenjo I., Moreno D., Diaz P., Hernando J., Menta C., Tarasconi K. 2012. Influence of Edaphic Factors on Edible Ectomycorrhizal Mushrooms: New Hypotheses on Soil Nutrition and C Sinks Associated to Ectomycorrhizae and Soil Fauna Using the Tuber Brule Model, in: Edible Ectomycorrhizal Mushrooms. Soil Biology 34 (eds. A. Zambonelli, G.M. Bonito). Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 83–105. ISBN 978-3-642-33822-9.
- Gawarecki Z. 1895. Trufle i ich sztuczne pielęgnowanie. Lwów, Poland, Ed. 'Bartnika Postępowego', 57 p.
- Gazo J., Miko M., Chevalier G. 2005. First results of inventory research on economically important species of truffles (Tuber) in the Tribec Mountains. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*, 8 (3): 66–71.
- Hilszczańska D., Sierota Z., Palenzona M. 2008. New Tuber species found in Poland. *Mycorrhiza*, 18 (4), 223–226.
- ISO 10693. 1994. Soil quality — determination of carbonate content — volumetric method. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland.
- Lubelska B. 1953. O występowaniu trufli (*Tuber* Mich. i *Choiromyces* Vitt.) w Polsce. *Fragmenta Floristica et Geobotanica Polonica*, 1: 87–96.
- Ławrynowicz M. 1999. *Tuber mesentericum*, an interesting species of black truffle in Poland. *Acta Mycologica*, 34 (1): 169–172.
- Ławrynowicz M. (oprac.) 1988. Grzyby (Mycota). Warkocze (*Ascomycetes*), jeleniakowe (*Elaphomycetales*), truflowe (*Tuberales*), vol. 18. Warszawa-Kraków, Instytut Botaniki PAN, PWN. ISBN 83-01-08005-1.
- Orłóś H. 1947. Czy trufle prawdziwie rosną w Polsce? *Czasopismo ogrodnicze. Organ Związku Rewizyjnego Spółdzielni R.P. i Centrali Gospodarczej Spółdzielni Ogrodniczych R.P.* Rok II. Nr 10: 14.
- PN-ISO 10390. 1997. Soil Quality. Determination of pH. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 15 p.
- PN-ISO 10694. 2002. Soil Quality. Determination of organic and total carbon after dry combustion ('elementary analysis'). International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 12 p.
- PN-ISO 11277. 2005. Soil quality. Determination of particle size distribution in mineral soil material. Method by sieving and sedimentation. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 46 p.
- PN-ISO 13878. 2002. Soil Quality. Determination of total nitrogen content by dry combustion ('elemental analysis'). International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland, 10 p.
- PN-EN ISO 14688-2. 2005. Badania geotechniczne. Oznaczanie i klasyfikowanie gruntów. Część 2. Zasady klasyfikowania.
- Selosse M. A., Faccio A., Scappaticci G., Bonfante P. 2004. Chlorophyllous and achlorophyllous specimens of *Epipactis microphylla* (Neottieae, Orchidaceae) are associated with ectomycorrhizal septomycetes, including truffles. *Microbial Ecology*, 47: 416–426.
- Spausta W. 1897. Trufle. *Sylwan*, 15/6,7: 161–167, 201–208.
- Stobbe U., Büntgen U., Sproll L., Tegel W., Egli S., Fink S. 2012. Spatial distribution and ecological variation of re-discovered German truffle habitats. *Fungal Ecology*, 5 (5), 591–99.
- Swoboda J. 1928. Użytek z grzybów w gospodarstwie domowym. Miejsce Piastowe, wyd. nakładem autora, Tłocznia Zakładów św. Michała Archanioła.
- Tarnawski M., Sykuła U., Ura M. 2011. Problemy z nazewnictwem gruntów spoistych według normy PN-EN ISO 14688. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego*, 446, 2: 423–428.
- Wedén C., Chevalier G., Danell E. 2004. *Tuber aestivum* (syn. *T. uncinatum*) biotopes and their history on Gotland, Sweden. *Mycological Research*, 108 (3): 304–310.

## Contributions

A.R-G. – design the study, study data collecting, study data interpretation, manuscript preparation, literature review. D.H. – design the study, study data interpretation, manuscript preparation, literature review. H.S. – study data interpretation, manuscript preparation, literature review.