

## 短 報

# 断根時期および石灰施与がクヌギとコナラの細根生産量に及ぼす影響<sup>1</sup>

水谷和人・上辻久敏・野口享太郎<sup>2</sup>・山中高史<sup>3</sup>

Effects of root cutting time and liming on fine root production of *Quercus acutissima* and *Q.serrata*<sup>1</sup>

Kazuto Mizutani, Hisatoshi Kamituji, Kyotaro Noguchi<sup>2</sup>, Takashi Yamanaka<sup>3</sup>

外生菌根菌であるトリュフを林地で栽培化することを目的に、トリュフ菌感染のターゲットとなるブナ科樹木成木の細根生産量を増やす条件を把握するため、クヌギおよびコナラの人工林で、断根処理時期と石灰の施与が細根の生産量に及ぼす影響について調査を実施した。各調査地は林齢や植栽本数、土壌条件やその他生育環境等がばらばらで、様々な条件にあるが、細根生産量を増やすための断根処理の時期は、いずれの調査地でも夏より春の方が適していると考えられた。また、トリュフ菌が好むとされる高 pH 環境が細根生産に及ぼす影響については、石灰施与の効果はばらつきが大きいですが、細根生産量が増加する場合もあり、細根の増加に悪い影響は与えない結果であった。

**キーワード**：断根時期、石灰施与、細根生産量、クヌギ、コナラ

## I はじめに

トリュフは、子囊菌類のセイヨウシヨウロ科に属する地下性きのこで、キャビアやフォアグラと並ぶ世界三大珍味の一つとして知られる高級食材である。イタリアやフランスなどが有名な産地であるが、インドや中国などのアジアでも発生することが知られている。ヨーロッパなどでは、一部の種で感染苗木による人工栽培が行われている (山中 2017)。

我が国にもトリュフが自生することがわかってきた (今関ら 1989 ; 藤澤ら 2006 ; 阿部ら 2010)。最近の遺伝子情報に基づく解析により 20 系統のトリュフが存在し (木下ら 2011)、その中には食用として期待される種も存在する (木下ら 2016 ; 2018)。しかし、我が国では国産トリュフの栽培は行われていない。このため、栽培化に向けた検討が必要であるが、ヨーロッパのものとは種類や発生環境などが異なるため、海外の人工栽培技術をそのまま適用することはできない。

トリュフは、マツタケなどと同じように樹木の根との共生関係を結んで生育する外生菌根菌であり、ブナ科やカバノキ科などの新しく発生した細根に感染して子実体を発生させる (山中 2017)。このため、人工栽培技術を開発するためには、トリュフ菌の生育に好適な環境下で細根の発生量を増やし、感染の機会を増やすことが重要と考えられる。しかし、細根生産量に関する既往研究、

特にブナ科樹木の成木におけるものは極めて少なく (田中ら 2017 ; 2018)、様々な環境下での調査データの収集・蓄積が必要である。また、欧州のトリュフは石灰岩地帯のアルカリ土壌を好む (小川 1992) ことから、国内産トリュフの人工栽培技術化を図るためには、石灰などの施与によって土壌をアルカリ性にした検討も必要である。

そこで、トリュフを林地で栽培化することを目的に、トリュフ菌感染のターゲットとなるブナ科樹木成木の細根生産量を増やす条件について検討した。本研究では、一般的に細根の発生を促すといわれる根の切断時期とトリュフ菌が好むとされる高 pH 環境が、宿主樹木であるクヌギとコナラの細根発生に及ぼす影響について調べた。

## II 調査方法

調査地は岐阜県内の 5 ケ所で、クヌギ林 3 ケ所、コナラ林 2 ケ所である (図-1, 図-2)。

クヌギ林は美濃加茂市三和に 2 ケ所、可児市川合に 1 ケ所設置した (表-1)。

美濃加茂市三和は、標高 250 m の広葉樹林を伐採した跡地に 2009 年 3 月に植栽されたクヌギ人工林で、林内の傾斜 33° の南斜面に 1 ケ所 (以下、美濃加茂 (傾斜地) とする) と傾斜 8° の西斜面に 1 ケ所 (以下、美濃加茂 (平

<sup>1</sup>本研究の一部は、第 129 回日本森林学会大会で発表した。

<sup>2</sup>国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所東北支所

<sup>3</sup>国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所

坦地)とする)設置した。美濃加茂(傾斜地)の調査地内のクヌギの平均胸高直径は8.2cm、立木本数は3,154本/haで、胸高断面積合計は13.2m<sup>2</sup>/haである。美濃加茂(平坦地)のクヌギは、平均胸高直径6.6cm、立木本数3,060本/haで、胸高断面積合計は19.5m<sup>2</sup>/haである。いずれも土壌型はB<sub>0</sub>である。

可児市川合は、標高90mの平坦地に2007年に植栽されたクヌギ人工林である(以下、可児とする)。ここは、有効土層が深く、深くまで均質で柔らかな砂質壤土の土壌で、保水性、透水性が良好な場所である。植栽されたクヌギの成長は良好で、平均胸高直径は10.1cm、立木本数は1,944本/ha、胸高断面積合計は66.8m<sup>2</sup>/haである。

コナラ林は関市富之保地内に2ヶ所設置した。1ヶ所は、標高280mのスギ伐採跡地に植栽された傾斜23°の東斜面である(以下、関Aとする)。林齢は不明であるが、植栽されたコナラの平均胸高直径は6.5cm、立木本数は2,331本/ha、胸高断面積合計は8.7m<sup>2</sup>/haである。

もう1ヶ所は、傾斜15°の南斜面の畑地に植栽されたコナラ人工林である(以下、関Bとする)。過去にシイタケ原木用に伐採され、伐根から発生した萌芽が成長して株立ちした林で、平均胸高直径は8.2cm、立木本数は4,011本/ha、胸高断面積合計は23.5m<sup>2</sup>/haである。

各調査地に石灰施与区と無施与区(対照区)を面積48~165m<sup>2</sup>で設け、断根の時期と石灰施与の有無が、宿主樹木であるクヌギとコナラの細根発生に及ぼす影響

を調査した。

断根の時期はクヌギ林が2017年3月、5月、7月、コナラ林が、同年5月、7月である。細根生産の観察・測定は、イングロースコア法(Osawa and Aizawa 2012)により行った。断根の方法は、直径約5cm、深さ20cm(約393cc)の穴を掘り、穴内部にある根ごと土壌を採取した。穴の場所は、立木の根元から概ね50cm離れた地点とし、石や根があつて困難な場合を除いて、1本の木ごとに3月、5月、7月(コナラは5月、7月)に断根処理を実施した。供試数は7~14である。掘った穴に、直径3.2cmのプラスチック製メッシュ円筒容器に芝の目土と鹿沼土を容積比で2:1に混合して含水率を調整した土を詰めて埋め戻した(図-3)。石灰施与区では資材にてんろ石灰(ミネックス株式会社)を加えて、pHを概ね7.5に調整したものを穴に埋めるとともに、試験地全面に2016年9月、あるいは2017年5月に、てんろ石灰を表-1のとおり施与した。

2017年10~11月に埋設箇所を掘り取り、イングロースコア内に再生した直径2mm以下の細根の乾燥重量を測定し、断根処理に適した時期と石灰施与の効果を把握した。また、適宜、土壌pHを測定した。

断根時期、石灰施与の有無による細根生産量の違いは、tukey's testによる多重比較により評価した。



図-1 調査地の位置

表-1 調査地の概要

調査地	美濃加茂		可児	関A	関B
	傾斜地	平坦地			
標高(m)	250	250	90	280	280
傾斜(斜面方位)	33°(南)	8°(西)	0°(-)	23°(東)	15°(南)
樹種	クヌギ	クヌギ	クヌギ	コナラ	コナラ
植栽年月	2009年3月	2009年3月	2007年	不明	不明
立木本数(本/ha)	3,154	3,060	1,944	2,331	4,011
DBH(cm)、樹高(m)	8.2, 8.3	6.6, 7.5	10.1, 9.3	6.5, 5.8	8.2, 9.5
胸高断面積計(m <sup>2</sup> /ha)	13.2	19.5	66.8	8.7	23.5
施与区・対照区面積(m <sup>2</sup> )	75・48	165・67	80・64	156・120	128・128
石灰施与年月	2016年9月	2016年9月	2017年5月	2017年5月	2017年5月
石灰施与量(kg/m <sup>2</sup> )	1.9	1.9	0.9	1.6	1.9
断根時期(2017年)	3, 5, 7月	3, 5, 7月	3, 5, 7月	5月, 7月	5月, 7月
掘取時期(2017年)	10月30日	10月30日	10月31日	11月9日	11月9日
土壌型	B <sub>0</sub>	B <sub>0</sub>	未調査	未調査	未調査

各調査地には、いずれもてんろ石灰施与区と対照区(無施与区)を設置した

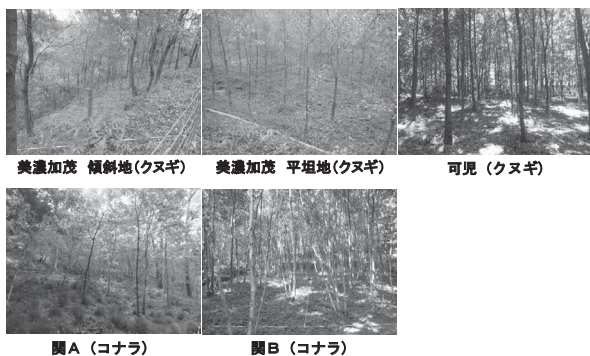


図-2 調査地の状況

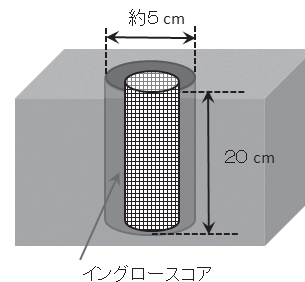


図-3 イングロースコアの埋設

### Ⅲ 結果と考察

#### 1. 石灰の施与による土壌 pH の影響

美濃加茂のクヌギ林における土壌表面（深さ 0～5cm）の pH 変化を図-4 に示した。石灰施与により、施与約 1 年後の 2017 年 10 月時点での深さ 0～5cm の土壌 pH は傾斜地が 6.5 で無施与区の約 5.8 に比較すると若干高かったが、平坦地は 6.0 で、無施与区と大きな違いがなかった。

図-5 に掘り取り時の埋設土壌 pH 変化を示した。石灰施与区の穴に埋設した混合土の pH は 6.9～7.1 で、対照区の 6.1～6.3 に比較して高い pH を維持していた。本研究では、てんろ石灰を地表面に 0.9～1.9kg/m<sup>2</sup> 施与した。施与量は野菜・果樹・畑作物の施用量として示されている 100～200kg/10a（ミネックス 2018）に比較して多いが、土壌表面での攪拌を行っておらず地表面の石灰が流れたためか、深さ 0～5cm の土壌 pH の上昇は少なかった。なお、埋設土壌に混合した場合には高い土壌 pH が維持できていた。

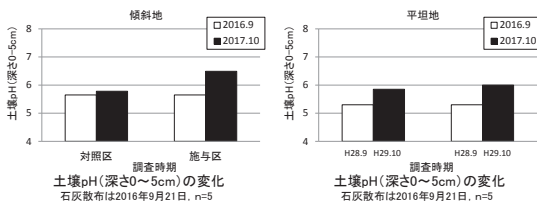


図-4 土壌表面（深さ 0～5 cm）の pH 変化

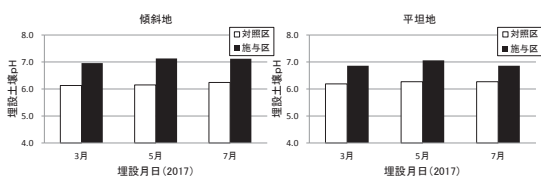


図-5 掘り取り時の埋設土壌 pH  
掘り取りは 2017 年 10 月 30 日, n=7

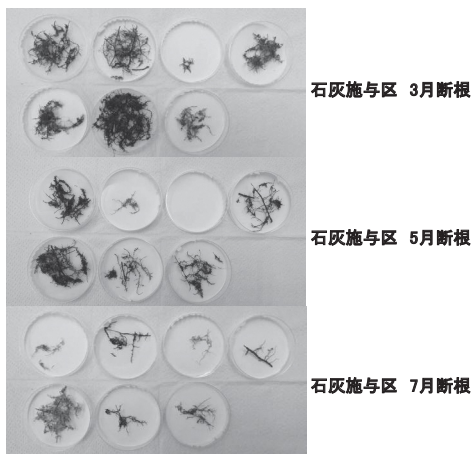


図-6 美濃加茂（傾斜地）の細根生産状況

#### 2. 細根生産量

##### (1) 細根生産量に及ぼす断根と石灰施与の影響

美濃加茂（傾斜地）の石灰施与区における細根生産状況を図-6 に示した。穴によっては細根生産が全くない場合があるなど、生産状況にはばらつきがあった。この状況は他の調査地においても同様であった。美濃加茂（傾斜地）における細根生産量（乾燥重量）を図-7 に示した。石灰施与区の生産量は 3 月が 26.5g/m<sup>2</sup>/month, 5 月が 19.2g/m<sup>2</sup>/month, 7 月が 12.4g/m<sup>2</sup>/month であった。対照区は 3 月が 19.1g/m<sup>2</sup>/month, 5 月が 10.3g/m<sup>2</sup>/month, 7 月が 10.8g/m<sup>2</sup>/month であった。断根時期別の細根生産量は、石灰施与区および対照区とも 5 月や 7 月に比較して 3 月が最も多い傾向にあったが、有意差はみられなかった。また、石灰施与の有無で比較すると、いずれの断根時期でも石灰施与区が対照区に比較して多い傾向にあった。

美濃加茂（平坦地）における細根生産量（乾燥重量）を図-8 に示した。石灰施与区は 3 月が 12.8g/m<sup>2</sup>/month, 5 月が 4.3g/m<sup>2</sup>/month, 7 月が 3.5g/m<sup>2</sup>/month であった。対照区は 3 月が 12.6g/m<sup>2</sup>/month, 5 月が 5.0g/m<sup>2</sup>/month, 7 月が 2.4g/m<sup>2</sup>/month であった。断根時期別の細根生産量は、石灰施与

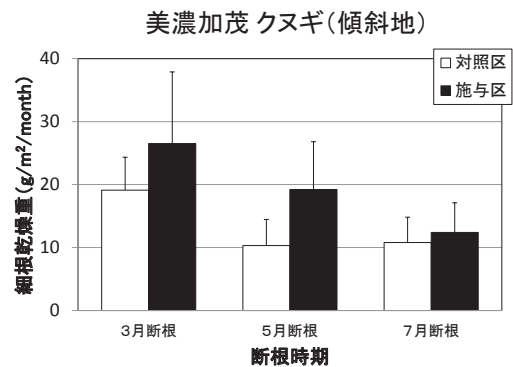


図-7 断根時期と石灰施与が細根生産量に及ぼす影響  
平均 + 標準誤差 (n=7), 断根時期および石灰施与の有無間に有意差なし (tukey's test, p<0.05)

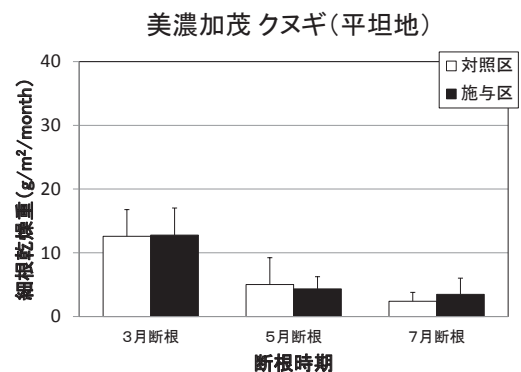


図-8 断根時期と石灰施与が細根生産量に及ぼす影響  
平均 + 標準誤差 (n=7), 断根時期および石灰施与の有無間に有意差なし (tukey's test, p<0.05)

区および対照区とも3月が最も多く、次いで5月、最も少ないのは7月であった。石灰施与の有無で比較すると、3月断根では同程度、5月断根では対照区が多く、7月断根では逆に石灰施与区が多いなど、石灰施与と生産量の関係は判然としなかった。

可児のクヌギ林における細根生産量(乾燥重量)を図-9に示した。細根生産量が0.23~1.93 g/m<sup>2</sup>/monthで、同じクヌギでも美濃加茂に比較すると、非常に少なかった。石灰施与区は3月が1.1g/m<sup>2</sup>/month、5月が1.1g/m<sup>2</sup>/month、7月が0.2g/m<sup>2</sup>/monthであった。対照区は3月が0.5g/m<sup>2</sup>/month、5月が1.9g/m<sup>2</sup>/month、7月が0.7g/m<sup>2</sup>/monthであった。本調査地では細根生産量が非常に少ないこともあって、断根時期の違いおよび石灰施与の有無とも細根生産量に及ぼす影響は判然としなかった。

関Aのコナラ林における細根生産量(乾燥重量)を図-10に示した。石灰施与区は5月が8.3g/m<sup>2</sup>/month、7月が0.1g/m<sup>2</sup>/monthであった。対照区は5月が4.9g/m<sup>2</sup>/month、7月が2.1g/m<sup>2</sup>/monthであった。断根時期別では、石灰施与区および対照区とも7月に比較して5月で細根生産量が多い傾向にあったが、対照区では有意差はみられなかった。石灰施与の有無で比較すると、5月断根では石灰施与区が多く、7月断根では対照区が多い傾向にあり、石灰施与の効果は判然としなかった。

関Bのコナラ林における細根生産量(乾燥重量)を図

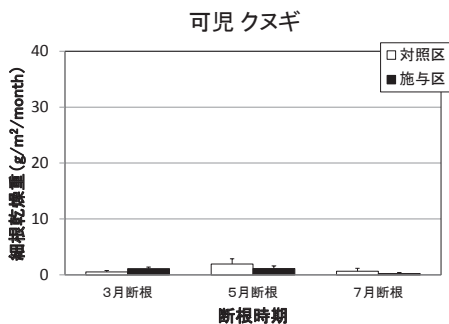


図-9 断根時期と石灰施与が細根生産量に及ぼす影響  
平均+標準誤差 (n=14), 断根時期および石灰施与の有無間に有意差なし (tukey's test, p<0.05)

-11に示した。石灰施与区は5月が10.1g/m<sup>2</sup>/month、7月が0.1g/m<sup>2</sup>/monthであった。対照区は5月が1.4g/m<sup>2</sup>/month、7月が0.1g/m<sup>2</sup>/monthであった。細根生産量は、石灰施与区および対照区とも7月に比較して5月で多い傾向にあり、石灰施与の効果は、5月断根で生産量が多い傾向にあったが、有意差はみられなかった。

てんろ石灰は、土壌の酸性を改良するとともに、作物に必要な多くの微量元素を含む肥料であるとされている(ミネックス 2018)。本調査では、石灰施与によりクヌギ林やコナラ林をトリユフ菌が好むとされる高pH環境に誘導できた。一方、細根生産に及ぼす影響についてはばらつきが大きかったが、生産量が増加する場合もあり、細根の増加に悪い影響は与えない結果であった。

断根処理は、根量を減少させ、養水分吸収力を一時的に減退させる。しかし、処理により、オーキシシン、サイトカイニン等のホルモン代謝が変化し、樹体内炭水化物、窒素成分が地下部に優先的に配分されて、残された根部では白色根の発生・成長が促される。このような断根後の根の再生態勢は、処理の強度、時期、葉層の有無、品種等の栽培要因によって大きな影響を受けるとされる(山下 1993)。本研究において、各調査地は林齢や植栽本数、土壌条件やその他生育環境等がばらばらで、様々な条件にあるが、クヌギおよびコナラともに、細根生産量を増やすための断根処理の時期は、いずれの調査地でも7月より3月や5月の方が適していると示唆された。

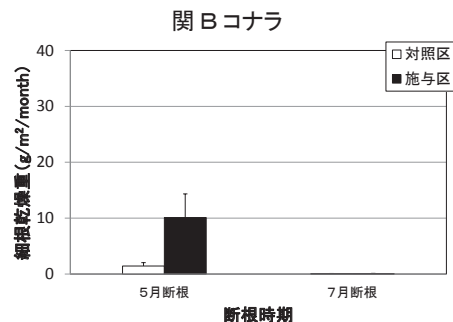


図-11 断根時期と石灰施与が細根生産量に及ぼす影響  
平均+標準誤差 (n=8), 断根時期および石灰施与の有無間に有意差なし (tukey's test, p<0.05)

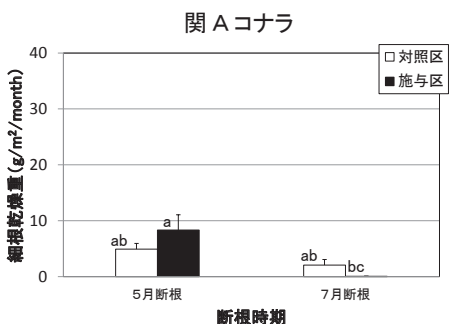


図-10 断根時期と石灰施与が細根生産量に及ぼす影響  
平均+標準誤差 (n=14), 異なるアルファベット間に有意差あり (tukey's test, p<0.05)

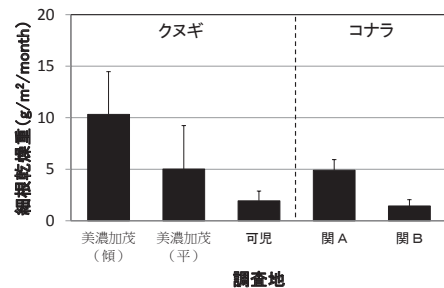


図-12 調査地別の細根生産量  
対照区・5月断根で比較, 平均+標準誤差  
n=7~14

## (2) 細根生産量に及ぼすその他の影響 (調査地間の比較)

各調査地間でデータの揃っている5月断根の対照区の数値で調査地間の細根生産量を比較した(図-12)。各調査地は林齢や植栽本数、土壌条件やその他育成環境等がばらばらで、様々な条件にあり、細根生産量は調査地によって大きく異なった。クヌギ林とコナラ林で比較すると、樹種による細根生産量の違いは判然としなかった。また、可児のクヌギ林は、調査地内で最も胸高直径が大きかったが、細根生産量は最も少ない結果であったため、胸高直径が大きい林で細根生産量が多いとは限らなかった。

斜面の傾斜で比較すると、クヌギ林では、一番多い美濃加茂(傾斜地)の傾斜が33°、次いで美濃加茂(平坦地)が8°、最も少なかった可児の傾斜は0°で、傾斜が急になるほど細根生産量が多い傾向にあった。可児で細根生産量が少ないのは、深くまで均質で柔らかな砂質土の土壌で、有効土層が深いことから、深根性のクヌギの根(荻住 1979)が土壌表面ではなく、深くに伸長した結果であるとも原因の一つと考えられる。コナラ林の関Aの傾斜は23°、関Bは15°であることから、コナラ林でもクヌギ林と同様に傾斜の急な林で細根生産量が多かった。

今後は、クヌギ林やコナラ林で3~5月に断根処理を行い、細根を増大させた場所に感染苗木の植栽や子実体懸濁液の接種など、トリュフ菌の接種を行い、根への感染に適した条件を明らかにしていくとともに、石灰施与の効果については引き続き調査を行う予定である。

## 謝 辞

本研究は、農林水産省委託プロジェクト研究「森林資源を最適利用するための技術開発、高級菌根性きのこ栽培技術の開発」により行った。

## 引 用 文 献

- 阿部淳一・神谷泰介・大久保彦・柴田尚(2010)山梨県小淵沢で発生した外生菌根菌セイヨウシロウロ(*Tuber indicum*)について. 日本菌学会第54回大会講演要旨集:109
- 後藤逸男(2016)転炉スラグの農業利用技術の開発と普及. 植物防疫第70巻第4号:209-214
- 藤澤示弘・鈴木清(2006)外生菌根菌イボセイヨウシロウロの発生調査結果-1993~2004の結果-. 第117回日本森林学会大会学術講演集:CD-ROM
- 今関六也・本郷次雄(1989)原色日本新菌類図鑑(II). 315pp, 保育社, 大阪
- 荻住昇(1979)樹木根系図説. 1121pp, 誠文堂新光社, 東京
- Kinoshita A, Sasaki H, Nara K (2011) Phylogeny and diversity of Japanese truffles (*Tuber* spp.)

inferred from sequences of four nuclear loci. *Mycologia* 103:779-794

Kinoshita A, Sasaki H, Nara K (2016) Two new truffle species, *Tuber japonicum* and *Tuber flavidosporum* spp. nov. found from Japan. *Mycoscience* 57:366-373

Kinoshita A, Nara K, Sasaki H, Feng B, Obase K, Yang Z-L, Yamanaka T (2018) Using mating-type loci to improve taxonomy of the *Tuber indicum* complex, and discovery of a new species, *T. longispinosum*. *PLoS One* 13(3):e0193745

ミネックス株式会社(2018)てんろ石灰. <http://minex.co.jp/pdf/tenro.pdf.html> (参照2019年1月10日)

小川眞編著(1992)野生きのこのつくり方. 173pp, 全国林業改良普及協会, 東京

Osawa A., and Aizawa R. (2012) A new approach to estimate fine root production, mortality, and decomposition using litter bag experiments and soil core techniques. *Plant Soil* DOI 10.1007/s11104-011-1090-6

田中(小田)あゆみ・野口享太郎・古澤仁美・木下晃彦・小長谷啓介・山中高史・柴田尚(2017)トリュフの発生が見られるクリ林におけるクリ細根の現存量と形態. 関東森林研究 68(1):49-52

田中(小田)あゆみ・野口享太郎・古澤仁美・木下晃彦・小長谷啓介・山中高史・柴田尚(2017)根の切断および石灰施肥処理が樹木の細根生産量に与える影響. 第128回日本森林学会大会学術講演集:90

田中(小田)あゆみ・野口享太郎・古澤仁美・木下晃彦・仲野翔太・小長谷啓介・山中高史・水谷和人・柴田尚(2018)耕耘と石灰施肥が樹木の細根動態と菌根形成に与える影響. 第129回日本森林学会大会学術講演集:112

山中高史(2017)国産トリュフの栽培に向けた研究開発とこれからの課題. 山林 1596:36-43

山下正隆(1993)茶樹の根群形成と断根後の根の再生に関する研究. 茶研報 78:77-89