

令和 5 年 5 月 19 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K06156

研究課題名（和文）食葉性昆虫の大規模食害による失葉下での異常な木質形成のメカニズムの解明

研究課題名（英文）Elucidation of abnormal xylem formation mechanism under insect defoliation

研究代表者

渡邊 陽子（Watanabe, Yoko）

北海道大学・農学研究院・研究員

研究者番号：30532452

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、摘葉処理、 ^{13}C パルスラベリング法およびピン打ち法を組み合わせ、失葉下での異常な木質形成が光合成産物の分配の変化により生じるかどうかを明らかにした。その結果、失葉下では摘葉処理前の光合成産物を利用して木質形成は行われず、再展葉後に獲得された光合成産物もしくは樹体内の貯蔵物質を利用して形成された可能性が示唆された。本研究の結果から、失葉により光合成産物の分配が変化し、その後の木質形成に影響することが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで成長期の失葉と異常な木質形成の関連が指摘されていたが、詳細は不明だった。本研究は、樹木が成長期に失葉した場合の光合成産物の分配の変化と木質形成の関係を明らかにすることができた。この異常な木質形成は木材として利用するときに材質低下を招くことが知られている。今後、地球環境変動下で食葉性昆虫の大発生が頻度増加が予測されており、本研究の結果は、地球環境変動下での森林管理および木材利用における知見を提供することができる。

研究成果の概要（英文）：This study aimed to clarify whether anomalous xylem formation under insect defoliation is caused by changes in carbon allocation by defoliation treatment, ^{13}C pulse labeling, and pinning methods. The results suggest that under defoliation, xylem formation did not occur using photosynthates before defoliation treatment, but may have been formed by photosynthates acquired after refoliation or by storage materials in the tree. The results of this study indicate that insect defoliation alters the carbon allocation and affects subsequent xylem formation.

研究分野：木材解剖学、樹木生理解剖学

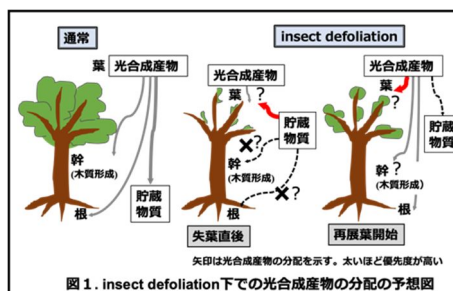
キーワード：失葉 光合成産物の分配 木質形成 ウダイカンバ カラマツ

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年、北海道において食葉性昆虫の大発生による森林樹木の成長期の失葉（以下 insect defoliation）が頻発している。北米やヨーロッパでは、古くから insect defoliation が生じており、結果として異常な木質の形成が多数報告されている(例えば Liang et al. 1997, Hogg et al. 2002)。針葉樹では主に晩材仮道管の薄壁化が、広葉樹では木部繊維壁の薄壁化が観察されているが、これらの異常な木質形成は、材質の低下を引き起こす原因となっている。北海道においても、しばしばマイマイガやクスサンといった蛾の幼虫や、カラマツハラアカハバチの幼虫などが大発生し、insect defoliation による異常な木質形成が、ウダイカンバやカラマツで観察されている (Watanabe and Ohno 2020)。

insect defoliation が木質形成に及ぼす要因として、主に失葉による光合成産物の分配の変化が考えられる。失葉により一時的に光合成ができなくなることや、失葉からおよそ1ヶ月後に再展葉が生じることから、樹体内での光合成産物の流れが変化し、結果的に細胞壁が薄壁化していると考えられる。落葉樹の場合、炭素安定同位体 ^{13}C を標識した CO_2 を光合成産物として樹体内に取り込ませる方法（以下、 $^{13}\text{CO}_2$ パルスラベリング法）により、早材は前年の光合成産物を利用して形成され、晩材は当年の光合成産物を利用して形成されることが解明されている (Kagawa et al. 2006)。insect defoliation は6~8月に生じることが多く、異常な木質形成は当年の光合成産物を利用して形成される晩材部で生じる。しかしながら、異常な木質形成が、どのタイミングで生じるのか、つまり、失葉した直後に貯蔵されたデンプンを利用して形成されるのか、もしくは再展葉後に当年の光合成産物を利用して形成されるのか、は解明されていない(図1)。



今後、環境変動により insect defoliation の頻度が増加する可能性が示唆されている。失葉下での木質形成のメカニズムを解明することで、insect defoliation への対策や材質低下の予測が可能となる。

2. 研究の目的

本研究では、摘葉処理、成長期の光合成産物がどのように木質形成に利用されているのかを解明できる $^{13}\text{CO}_2$ パルスラベリング法および維管束形成層に傷をつけることによって生じる傷害組織から木質形成過程を明らかにできるピン打ち法を組み合わせることによって、成長期の失葉下での異常な木質形成のメカニズムを解明することを目的とする。

3. 研究の方法

試料は、北海道大学札幌研究林実験苗畑に生育するウダイカンバ苗木と、北海道立総合研究機構林業試験場の苗畑に生育するカラマツ苗木とした。両樹種とも対照木（非摘葉木）と摘葉処理木を選択し、実際に食葉性昆虫の大発生時に失葉する時期（ウダイカンバは7月下旬、カラマツは7月と8月下旬）に合わせて、 $^{13}\text{CO}_2$ パルスラベリング法により、樹体内に $^{13}\text{CO}_2$ を光合成産物の形で取り込ませた。その後、摘葉処理木は摘葉した。その時に、ピン打ち法により形成層に傷をつけた。そのおよそ1ヶ月後に再展葉を確認し、再展葉開始時期および終了時期に再びピン打ちを行った。翌年、両樹種ともに苗木を伐採し、試料を採取した。

4. 研究成果

(1) 研究のおもな成果

摘葉処理したウダイカンバは、その年に形成された年輪の晩材部で木部繊維壁が薄壁化していた。対照木ではこの木部繊維壁の薄壁化は観察されなかった。 $^{13}\text{CO}_2$ パルスラベリング法により取り込まれた $^{13}\text{CO}_2$ は、ウダイカンバの木質形成に利用されていた。対照木（非摘葉木）では、木質形成が終了するまで利用されていた(図2)。

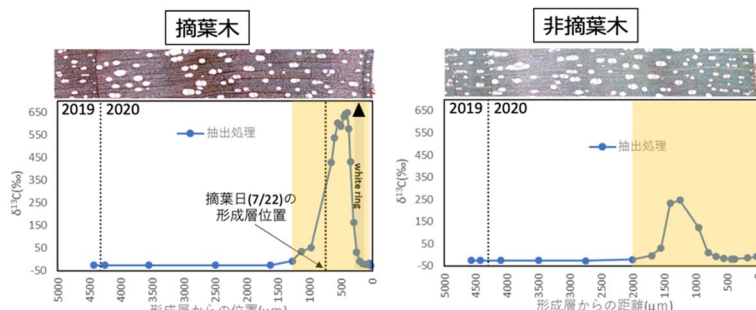


図2. ウダイカンバ $\delta^{13}\text{C}$ 値の放射方向の変動結果
▲：薄壁化した部分

ピン打ちにより形成された傷害組織を観察

した結果、薄壁の木部繊維は摘葉後に形成を開始し、再展葉開始時にはまだ形成中であり、再展葉終了後には形成終了していることが明らかとなった(山本 2023)。この結果と材に含まれる ^{13}C 値を比較したところ、摘葉直前にラベリングした $^{13}\text{CO}_2$ は薄壁の木部繊維壁形成には利用されておらず、薄壁の木部繊維壁形成後は一度形成層活動を休止している可能性が示唆された(図 2; 山本 2023)。したがって、薄壁の木部繊維壁は貯蔵されていた光合成産物や再展葉した葉で生合成された光合成産物を利用している可能性が高い。

カラマツは、マイマイガ幼虫の食害とカラマツハラアカハバチ幼虫の食害を想定して、それぞれ7月上旬と9月上旬に、 $^{13}\text{CO}_2$ パルスラベリング法によって $^{13}\text{CO}_2$ を取り込ませたのち、摘葉処理およびピン打ちを行った。各試料の組織構造を観察したところ、7月上旬に摘葉処理をしたカラマツでは、早材から晩材部への移行部の仮道管の薄壁化が観察された。9月上旬に摘葉処理をしたカラマツでは、晩材部の仮道管の薄壁化が観察された(図 3; 山本 2023)。これらの観察結果と ^{13}C 値を比較したところ、摘葉時期にかかわらず、摘葉処理直前にラベリングした $^{13}\text{CO}_2$ は木質形成に利用

されていたものの、薄壁の仮道管形成前にはほとんどが利用されつくされていることが明らかとなった(図 3; 山本 2023)。また、いずれの摘葉木も摘葉処理からおよそ1

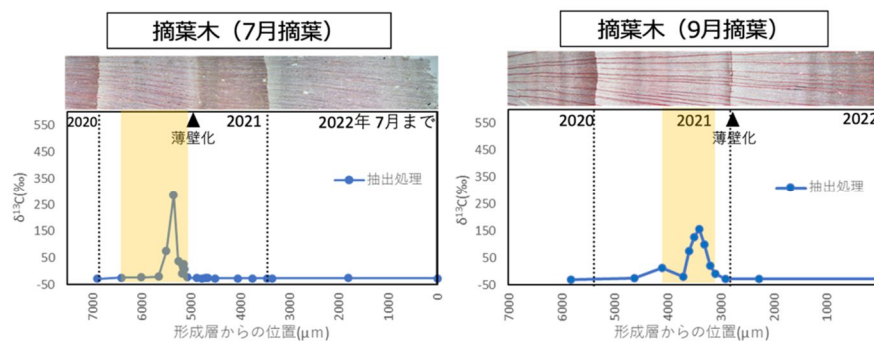


図 3. カラマツ $\delta^{13}\text{C}$ 値の放射方向の変動結果

を開始していることから、薄壁の仮道管形成は、摘葉処理による光合成の減少や、再展葉に光合成産物の分配を優先させた結果と考えられる。

(2) 今後の展望

これまで成長期の失葉と異常な木質形成には関連があることはわかっていたものの、失葉下での木質がどういったメカニズムで形成されているかについては解明されていなかった。本研究の結果から、成長期の失葉下での樹体内の光合成産物の分配の変化と木質形成との関連を示すことができた。しかしながら、樹体内の貯蔵物質と木質形成の関連や、再展葉した葉で生合成された光合成産物の分配については解明されていない。今後は、より詳細な光合成産物の分配や失葉下での水分通道、植物ホルモンの変化などを解明する必要があると考える。

< 引用文献 >

- Hogg EH, Hart M, Lieffers VJ (2002) White tree rings formed in trembling aspen saplings following experimental defoliation. *Can J For Res* 32: 1929–1934.
- Kagawa A, Sugimoto A, Maximov TC (2006) $^{13}\text{CO}_2$ pulse-labeling of photoassimilates reveals carbon allocation within and between tree rings. *Plant Cell Environ* 29:1571–1584.
- Liang C, Fillion L, Cournoyer L (1997) Wood structure of biotically and climatically induced light rings in eastern larch (*Larix laricina*). *Can J For Res* 27:1538–1547.
- Watanabe Y, Ohno Y (2020) Severe insect defoliation at different timing affects cell wall formation of tracheids in secondary xylem of *Larix kaempferi*. *Trees* 34:931–941.
- 山本陽太 (2023) ウダイカンバとカラマツにおける肥大成長への光合成産物配分に摘葉処理が及ぼす影響. 信州大学農学部農学生命科学科専攻研究論文.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 渡邊陽子・大野泰之	4. 巻 56
2. 論文標題 食葉性昆虫の大規模食害による失葉下での樹木の木質形成	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 昆虫と自然	6. 最初と最後の頁 27-30
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 渡邊陽子・大野泰之	4. 巻 72
2. 論文標題 食葉性昆虫の大規模食害により失葉したカラマツは異常な細胞壁を形成する	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 北方林業	6. 最初と最後の頁 30-33
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 渡邊陽子
2. 発表標題 食葉性昆虫の大発生による失葉は木質形成に影響する
3. 学会等名 日本木材学会 組織と材質研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大野泰之
2. 発表標題 食葉性昆虫による食害とその後の樹木の成長・生存 - 北海道における事例 -
3. 学会等名 日本木材学会 組織と材質研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡辺陽子・大野泰之・安江 恒
2. 発表標題 Insect defoliationによるウダイカンバの木質形成への影響
3. 学会等名 第71回日本木材学会大会（東京農工大学、オンライン）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本陽太・渡辺陽子・大野泰之・安江 恒
2. 発表標題 ウダイカンバにおける光合成産物の肥大成長への配分への摘葉の影響
3. 学会等名 第73回日本木材学会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 小池 孝良、塩尻 かおり、中村 誠宏、鎌田 直人	4. 発行年 2023年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 280
3. 書名 木本植物の被食防衛	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	安江 恒 (Yasue Koh) (00324236)	信州大学・学術研究院農学系・准教授 (13601)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	大野 泰之 (Ohno Yasuyuki) (30414246)	地方独立行政法人北海道立総合研究機構・森林研究本部 林業試験場・研究主幹 (80122)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関