

積雪地域におけるモウソウチクの栽培管理と化学的特性

2022. 3

岩手大学大学院
連合農学研究科
生物資源科学専攻
(山形大学)

古澤 優佳

第1章 緒言

第1節 研究背景	1
第2節 研究目的	3

第2章 タケノコ栽培北限における雪害発生の特徴とウラ止めによる防止効果

第1節 序論	4
第2節 材料と方法	6
2.1 調査地	6
2.2 雪害発生状況およびウラ止め実施状況の調査	6
2.3 雪害発生地の特徴	6
2.4 統計解析	7
第3節 結果と考察	8
3.1 林分ごとの雪害発生とウラ止め実施状況	8
3.2 稈ごとのウラ止め実施状況と雪害の有無の関係	9
3.3 環境要因および管理状況が被害率に与える影響および被害地の 地形的特徴	10
第4節 小括	13

第3章 モウソウチクのウラ止め最適時期決定への細胞壁組成および成分の影響

第1節 序論	22
第2節 材料と方法	23
2.1 検体の採取と保存	23
2.2 細胞壁組成の分析	23

2. 3	熱分解ガスクロマトグラフィー (Py-GC) を用いたリグニン構造 の分析	24
第3節	結果と考察	25
3. 1	細胞壁の主要成分	25
3. 2	Py-GC によるリグニン構造の分析	27
第4節	小括	29
第4章	栽培北限付近のタケノコのエグ味	39
第1節	序論	39
第2節	材料と方法	41
2. 1	検体採取と試料作成	41
2. 2	エグ味物質の化学分析	42
2. 2. 1	ホモゲンチジン酸分析	42
2. 2. 2	シュウ酸分析	42
2. 3	味覚分析	43
2. 3. 1	α ASTREE を用いた分析	43
2. 3. 2	TS-5000Z を用いた分析	44
第3節	結果と考察	45
3. 1	エグ味物質の化学分析	45
3. 2	味覚分析	45
第4節	小括	49
第5章	ウラ止め穂先の食用利用の可能性	55
第1節	序論	55

第2節 材料と方法	56
2.1 検体採取と試料作成	56
2.2 味覚分析	56
2.3.1 α ASTREE を用いた分析	56
2.3.2 TS-5000Z を用いた分析	57
2.3 遊離アミノ酸分析	57
第3節 結果と考察	58
3.1 味覚分析	58
3.2 遊離アミノ酸分析	59
第4節 小括	62
第6章 総括	68
引用文献	73
謝辞	78
Summary	79

第1章 緒言

第1節 研究背景

世界には約 80 ～ 90 属, 1000 ～ 1500 種の竹が生息しており, 生物地理学的に熱帯と温帯の 2 つのグループに分類される (Sungkaew et al. 2009)。温帯地域では, 中国, チリ, アメリカ, 日本に分布しており (Lin et al. 2002), 温帯地域ではいくつかの分類群に分けられている。竹資源は, 経済的利用だけでなく環境保全のための天然資源としても重要である (Zhou et al. 2005)。

日本で栽培されている主な竹は, モウソウチク (*Phyllostachys pubescens* Mazel ex Houzeau de Lehaie), マダケ (*Phyllostachys bambusoides*), ハチク (*Phyllostachys nigra* var. *henonis*) の 3 種類である (柴田 2003)。このうち最大の種はモウソウチクで, 日本へは 300 年ほど前に中国から導入された。

モウソウチクは特用林産物の 1 つであり, 日本には若芽 (タケノコ) の食品利用, 竹材利用等の目的で 17 世紀に導入された (柴田 2003)。林業における木材生産は植栽から収穫して収入を得るまで 50 年以上の長い期間を要する。一方, 山菜やきのことといった特用林産物は, 毎年同時期に一定の収入を得ることが可能であり, 林業経営において貴重な収入源である (加藤ら 2019)。現在, 日本の広範囲でタケノコ生産が行われており, 関西以南が全国の約 9 割の生産量を占めている (農林水産省 2020)。このため, 親竹の選定, 古い稈の伐採 (間伐), 施肥, 除草, 灌水といった日本におけるタケノコ栽培の基本的な管理方法は (上田 1963 ; 野中 2010), 関西以南の温暖な地域を想定して定められ, マニュアル化されている。

東北地方は栽培北限に近いいため生産量は全国の 1.4%とわずかだが, 2019 年における山形県の生産量は 193.7 t と東北で最も多く (農林水産省 2020), 農業資源, 観光資源として, 山間部に住む農林業従事者の貴重な収入源となっている (森川ら 2015)。しかし, 上述したように栽培管理マニュアルは西日本の温暖な地域を想定して作成されてお

り、栽培北限の気候に適した栽培マニュアルは近年まで存在しなかった。積雪地域では、稈の折れ、曲がり、倒れといった雪害が毎年のように発生する。雪害は、稈の折れによる転流の減少や、倒伏により光合成に必要な光量の減少を引き起こし、翌年以降のタケノコ生産に影響を与える（上田 1963）。雪害防止の方法として、上田（1963）は、樹木との混植、带状植栽、雪除去等を提案しているが、その効果や実用性は明確にされていない。また、実施の可否は竹林の立地条件に大きく左右される可能性が高い。

日本では、タケノコ生産のための竹林管理方法として、「京都方式」と「目黒方式」の2つが確立されている（柴田 2003）。京都方式の中には、温暖な地域において風害による稈の落下を防ぐ、また、タケノコの発生を促進して生産数を増やすことを目的としたウラ止めと呼ばれる作業がある（柴田 2003；上田 1963；野中 2010）。ウラ止めは、タケノコがほぼ完全に成長して若枝が出てきた段階で、タケノコの上部を取り除く作業である（柴田 2003 年）。ウラ止めの時期は、生産者らの経験に基づき若い枝が1~2段程度発生した時を目安にするとされているが（上田 1963；山形県 2017）、科学的根拠は明らかになっていない。また、ウラ止め実施時に発生する穂先については、未利用のまま廃棄されていると考えられる。

著者は、風害防止やタケノコ発生促進のために行われてきたウラ止めが、雪害防止にも寄与する可能性があると考えた。栽培北限に近い地域における持続的な竹資源生産と活用のためには、雪害防止方法を明らかにし、対策を進めることが重要であると考えられる。

第2節 研究目的

前節の内容を踏まえ、本研究では、栽培北限に近い積雪地域における持続的な竹資源生産と活用のため、雪害防止方法を明らかにし、適切な実施と有効性を生産者に示すための基礎的知見を得ることを目的とした。

第2章では、風害防止やタケノコ発生促進のために行われてきたウラ止めが、雪害防止にも寄与する可能性があると考え、ウラ止めの雪害防止効果を調べるとともに、雪害が発生しやすい竹林の地形的特徴を調査した。

第3章では、栽培者らの経験に基づき決められているウラ止め適期を科学的に検証するため、適期とされている時期にウラ止めを行い、折れた部分の上下の細胞壁の組成分析、およびリグニン構造の分析を行った。また、ウラ止めより前の竹成長初期、ウラ止めより後の当年生成竹の細胞壁についても同様の分析を行い、比較を行った。

第4章では、生産者が興味を持っているタケノコの味に着目し、栽培北限に近い山形県産のタケノコ、他地域のタケノコについて化学分析、味覚センサーを用いた定性的な評価を行い、栽培北限に近い地域のタケノコの味の特徴を検討した。

第5章では、第2章、第3章で述べたウラ止めを実施した際に発生する穂先部分が未利用資源となっていることから、味覚センサーを用いた定性的な評価および成分分析を行い、第4章の結果との比較により食品としての利用可能性を考察した。

以上の結果に基づき、栽培北限に近い積雪地域でのモウソウチク栽培における雪害防止と実施の有効性、タケノコの味特性、ウラ止め穂先の利活用について総合的に考察を行った。

第2章 タケノコ栽培北限における雪害発生の特徴とウラ止めによる防止効果

第1節 序論

日本のタケノコ栽培における管理の基本的内容は、親竹の選定、古い稈の伐採(間伐)、施肥、除草、灌漑とされ(上田 1963 ; 野中 2010)、実施の詳細は西日本の温暖な地域を基準にマニュアル化されている。しかし、栽培北限に近い積雪地域の気候に適した管理マニュアルはなく、生産者は温暖な地域のマニュアルを参考にしながら経験と独自の判断で管理しており、その内容や技術は生産者によって大きく異なる。

栽培北限に近い積雪地域である山形県内のタケノコ生産は約 97%が庄内地方で行われ、特に鶴岡市が中心である(Figure 2.1)。鶴岡市の最大積雪深は100~150cmであり、その影響による稈の折れ、曲がり、倒伏といった雪害が毎年のように発生している(Figure 2.2)。雪害にあった稈は、倒伏による日照不足や枯死により同化作用に支障が生じ、翌年以降のタケノコ生産に影響するとされている(上田 1963)。上田(1963)は、雪害防止の方法として、樹木との混立、防雪林の設置、鉄線の設置、雪の払落とし等を提案しているが、これらを検証した報告はほとんどなく効果や実用性は不明である。また、これらの実施の可否は栽培地の立地条件に左右される可能性が高く、汎用性の高い実用的かつ実施効果の高い管理技術が必要である。

日本ではタケノコ生産を目的とした竹林管理技術として、「京都式」「目黒式」の2つの方法が確立され、「京都式」を代表する技術にウラ止めがある(柴田 2003)。ウラ止めは風害による稈の損傷を防ぎタケノコの発生を促進することを目的として実施され、タケノコが稈として成熟していく過程で上部を折り取ってしまう作業である(柴田 2003 ; 上田 1963 ; 野中 2010)。山形県においても、京都式を参考としている一部の生産者が、上述した目的でウラ止めを行っている事例がみられるが(Figure 2.3)、雪害防止効果について明らかではない。

そこで、本研究ではウラ止めの雪害防止効果を調べるとともに、雪害が発生しやすい

竹林の地形的特徴を調査した。

第2節 材料と方法

2. 1 調査地

山形県鶴岡市において雪害が発生した 6 地区で調査を実施した (Table 2.1)。鶴岡市は冷温帯に位置し、1981 年から 2010 年の 30 年間の気象データに基づく年平均気温は 12.5°C、日最低気温は 2 月の -1.4°C、日最高気温は 8 月の 29.9°Cであった(気象庁 2018)。また、年間降水量は 2098mm で、例年 11 月から 4 月にかけては雪が降り、平均の最深積雪は 2 月の 69 cmであった (気象庁 2018)。

2. 2 雪害発生状況およびウラ止め実施状況の調査

調査は 2012 年に 8 林分、2013 年に 1 林分、2016 年に 16 林分で実施した (Table 2.1)。調査箇所はいずれも栽培管理が行われている林分を対象とした。生産者によって管理内容や程度が大きく異なることから、調査地の選定にあたっては以下の管理内容の有無を基準に判断した。①密度管理の痕跡 (伐根) がある、②放棄竹林に見られるような稈の折れや倒れが残っていない。

それらの林分に雪害発生竹を含む 50 m²のプロットを設置し、プロット内の全ての稈について雪害発生の有無およびウラ止め実施の有無を調査した。本調査における雪害は、根返りしている、稈が途中で折れまたは裂けている、稈が斜立しているまたは大きく弓状に曲がり幹先が地面に付いているものとした。

2. 3 雪害発生地の特徴

調査は 25 箇所で行い (Table 2.1)、調査項目は斜面方位、傾斜角度、稈密度とした。斜面方位は山側から斜面下方に向かって測定し、傾斜角度は 2. 2 で設置したプロットの中心にクリノメーターを置いて測定した。稈密度はプロット内全ての稈を数え、日本のタケノコ栽培マニュアルで一般的な栽培面積単位である 0.1 ha (上田 1963; 野中

2010) に換算した。

2. 4 統計解析

統計解析には、本調査のデータと森川ら (2015) のデータを使用した。

調査地の地形および管理内容の各要因が雪害率に与える影響を調べるため重回帰分析を行った。分析にあたっては、斜面方位およびウラ止め実施の有無は定性的なデータであるため、ダミー変数を用いて定量的なデータに変換した。目的変数を被害率 (Y) とし、説明変数を傾斜 (X₁)、斜面方位 N (X₂)、NE (X₃)、E (X₄)、SE (X₅)、S (X₆)、SW (X₇)、W (X₈)、NW (X₉)、稈密度 (X₁₀)、ウラ止め完全実施 (X₁₁)、ウラ止めの一部実施 (X₁₂) とした。変数の選択はステップワイズ法を使用した。

また、雪害の発生率とウラ止め実施状況の関係を分析するため、雪害の有無とウラ止め実施の有無を属性としたクロス集計表を作成し X² 検定を行った。2 つの変数の間に統計的に有意な関係が確認された場合は残差分析を行った。

さらに、地形特性や稈密度の各要素を以下のように分類し、区分ごとに雪害の発生箇所数を求めて X² 検定を行い、雪害発生地の特徴を分析した。斜面方位：平坦地およびコンパスの 8 方位の 9 区分。傾斜：0°および 5°間隔の 9 区分。稈密度：0 本/0.1ha および 100 本/0.1ha ごとの 10 区分。

上述の分析は、全てエクセル統計 2015 (SSRI, 東京, 日本) を用いて行った。

第3節 結果と考察

3. 1 林分ごとの雪害発生とウラ止め実施状況

林分ごとの被害率は3.3%から62.5%であり（平均19.4%）、被害状況は林分ごとに大きな差が見られた（Table 2.1）。

日本において山形県以外のモウソウチク雪害に関する報告は確認できないが、中国では2008年に大規模な雪害が発生しており、重大な被害と影響をもたらしたと報告されている（Zhou et al. 2011）。Zhouら（2011）では、被害率が24.77～81.97%（平均54.48%）と被害の度合に大きな幅があることを示しており、本調査はこの報告と同様の結果であった。

上田（1963）は、竹の雪害は水分を多く含んだ比重の大きい雪による被害が著しいとしている。鶴岡市では、積雪期の前半（11月下旬）と後半（3月下旬）に比重が大きく含水率の高い雪が降ることがある。また、日本の積雪地域は雪質により4つに分類され（湿り雪地域、中間地域、乾き雪地域、しもざらめ雪地域）、鶴岡市は湿り雪地域および中間地域にあたる（石坂1995）。さらに、鶴岡市は、海岸に面する温暖な場所から山岳地帯まで地形的、気象的環境に幅があり、地域によって雪質が異なる。このため、局所的な雪質の違いによって被害の度合が異なる可能性が考えられた。

また、雪害を受けた25林分のウラ止め実施程度も異なっており（Table 2.1）、調査地内の稈全てについて完全にウラ止めを実施していた調査地が1箇所、部分的に実施していたのが17箇所、未実施が7箇所であった。ウラ止めの実施程度ごとに被害率をみると、ウラ止め完全実施箇所の被害率が5.2%であったのに対し、一部実施箇所では平均18.3%、未実施箇所では平均31.5%であった（Table 2.1）。以上より、ウラ止め実施の度合いが高いほど林分単位の被害率は低くなることが示唆された。

本調査では、約67%にあたる林分が一部の稈のみウラ止めを実施しており（Table 2.1）、ウラ止め実施林分の大部分を部分的実施が占める傾向が新たにわかった。部分的にウラ

止めされた竹林は以下の3パターンに大別された。(1) 実施されている稈は古く、新しい稈は行われていない、(2) 稈の新旧に関係なく実施しているが一部に未処理の稈が残る、(3) 道路や民家に隣接して生育している稈に限定して実施している。(1)は、栽培過程のいずれかの時期から実施しなくなった、もしくはできなくなった箇所と考えられる。鶴岡市のタケノコ生産は、生産者の高齢化が課題の1つとなっている。うら止め実施の必要性、重要性は認識されているものの、労働力不足により作業が追いつかないことが推測された。しかし、ウラ止めは単に生産者の作業量を増やすだけの施業ではないと考えられる。雪害が発生した場合は翌年以降のタケノコ発生への影響のみならず、被害竹は林内移動や作業の障害にもなる。このため、収穫に向けて最も繁忙となる春季に伐採、林外搬出といった作業が必要となり、生産者の負担が増加する。この点からもウラ止めの実施は有効であると考えられ、生産者にこれらを周知することで実施率を高めしていく必要がある。(2)は管理の一部としてウラ止めを行っているものの、確認不足により適切な実施時期を逃していると推測される。ウラ止め実施の適期は、タケノコがほぼ伸びきって地際から5~6m頃までの皮が落ち最下の幼枝が1~3本くらい伸び始めた頃とされ(野中 2010)、限られたごく短期間に実施しなければならない。また、同一の竹林であってもタケノコの発生は1ヶ月ほど期間にばらつきがある。この間、適切な時期を逃さないようにタケノコの発生や成長を高頻度で確認し一定期間作業を継続しなければならず、生産者や作業者に実施方法の適切な普及が必要であると考えられる。(3)は、生活環境を考慮して実施したものであり、最適なタケノコ栽培を目的としているものではないと推測される。このため、タケノコ栽培におけるウラ止めの利点について栽培者に情報提供することで、完全実施につなげることができると考えられた。

3. 2 稈ごとのウラ止め実施状況と雪害の有無の関係

調査した664本の稈について雪害発生の有無とうら止め実施の有無を示す(Table 2.2)。

ウラ止めを行っていた 154 本のうち、雪害が発生していたのは 9 本で、90%以上が健全であった。一方、ウラ止めをしていなかった 510 本では、約 30%にあたる 135 本に雪害が発生していた。Yeats の連続性補正を行った X^2 検定により独立性の検定を行ったところ有意差が認められ ($X^2=28.43$, $p<0.01$)、ウラ止めの実施と雪害発生率の間には因果関係が確認された (Table 2.2)。また、それらについて残差分析を行った結果、ウラ止めした幹の雪害未発生数、およびウラ止めしなかった稈の雪害発生数は有意に多く (Table 2.2)、ウラ止めの実施は雪害を防止することが示唆された。

上田 (1963) はウラ止めをしていない 31 枝節の竹 (目通り直径 9cm) について、地際から先端までの枝節数を 4 つの部位に分け (地際に近い部分から順に、第 1~8 枝節、第 9~14 枝節、第 15~18 枝節、第 19~31 枝節)、葉の面積を示している。これを用いて全葉面積に対する各部位の葉面積比率を求めると、地際から先端に向かって約 9%、34%、23%、34%となっている。竹の稈は先細りしている形状であることに加えて先端の葉面積の比率が高いため、重みで先端が大きく曲がり、雪を載せやすい形状であると考えられる。したがって、ウラ止めを行い通直な形状とすることで雪害が防止されると考えられた。

3. 3 環境要因および管理状況が被害率に与える影響および被害地の地形的特徴

はじめに、斜面方位、傾斜角度、稈密度ごとの雪害発生箇所数を Figure 2.4. に示す。 X^2 検定の結果、斜面傾斜において有意に差が認められた ($X^2=15.64$, $p<0.05$)。発生箇所数の分布から、傾斜角度が 20 度より大きくなると雪害発生数が多くなる傾向がみられ、傾斜が大きい栽培地ほど雪害が発生しやすいことが示唆された。斜面方位および稈密度については被害発生箇所数に有意な差はなく、これらにより雪害が発生しやすい傾向はみられなかった (Figure 2.4.)。

次に、全調査地の環境と管理状況の各要因が被害率に与える影響を調べるために行っ

た重回帰分析の結果を示す。各変数間の相関は中程度以下であり、多重共線性の問題はなかった (Table 2.3)。分析の結果、以下の重回帰式が得られた。

$$Y = -0.0515 X_{10} + 18.1103 X_2 - 9.9850 X_{12} - 23.5374 X_{11} + 48.2921$$

修正 R^2 は 0.3578 であり (Table 2.4) 回帰式の当てはまりはあまり良くなかった。偏回帰係数から、北側斜面は被害率を高める方向に働き、高い稈密度、ウラ止めの完全実施および一部実施が被害率を下げる方向に働くことが示された。以上の結果から、ウラ止めを導入することで被害率が低下することが明らかとなった (Table 2.4)。また、回帰式に含まれる変数は標準偏回帰係数の大きい順に、稈密度、斜面方位北、ウラ止めの一部実施、ウラ止めの完全実施の 4 つであるが、統計的に有意なのは稈密度のみであった (Table 2.4)。

本研究では、急斜面に生育する竹林では雪害が発生しやすいという結果が示された (Figure 2.4)。上述したように、竹の稈は先細りしている形状であることに加えて先端の葉面積の比率が高く、先端が大きく曲がっている。このため、斜面においては稈先端の重さが斜面下方向に偏ると考えられ、急傾斜地ではその影響が大きくなるためと考えられた。なお、雪害の発生に斜面方位と稈密度は大きく影響しないことが示された (Figure 2.4)。一方、重回帰分析の結果では、斜面方位と稈密度が雪害発生場所の被害率に影響を与えていることが示されている (Table 2.4)。これらの結果から、被害発生の有無に影響を与える要因と、被害の程度に影響を与える要因は必ずしも一致しないことが考えられた。得られた重回帰式からは、北側斜面の被害が大きくなり、稈の密度が高いほど被害が小さくなることが示唆された (Table 2.4)。斜面方位、立竹密度と雪害の関係について、Zhou ら (2011) は、北側斜面では南側斜面よりも被害を受けた稈の割合が高く、高密度の林分は低密度の林分よりも被害割合が高いことを報告しており、北側斜面での被害の傾向は今回の結果と同様であった。一方、稈密度の被害度への影響は逆の結果となっている。調査地を目視で観察したところ、稈密度が高い林分には空間がなく、

稈同士が支えあって立っているため雪害を受けにくいと推測された。以上の結果から、雪害の発生や程度に影響を与える要因は、地域によって異なると考えられた。しかしながら、今回の調査結果のみでは、それらの違いは明確にはできず、明らかにするためには、国内外の複数の地域において同様の調査を行う必要がある。また、同様の気象条件で被害を受けていない林分と比較することで、雪害の発生や防止についてより詳細な知見を得ることが必要である。このため、積雪地域のタケノコ栽培林においては可能な限り多くの林分でウラ止めを行うことが望ましいが、雪害発生の有無に影響があることが示された急傾斜地においては、特に優先的にウラ止めを実施する必要があると考えられた。

第4節 小括

特用林産物であるタケノコは、収穫まで長時間を要する林業経営において、中間所得を得るための重要な役割を担っている。このため、タケノコの安定生産技術は、持続可能な林業経営のために非常に重要であると考えられる。タケノコの安定生産に影響を与える要因の一つである雪害に対し、温暖な地域でタケノコを効率的に栽培するために行われてきたウラ止めが、多雪地域で雪害を防ぐのに有効であることが明らかとなった。この結果は新たな知見であり、林業の持続可能な経営に貢献するものと考えられた。



Figure 2.1. Location of the study area



Figure 2.2. State of the snow damage



Figure 2.3. Bamboo stand performed “Uradome”

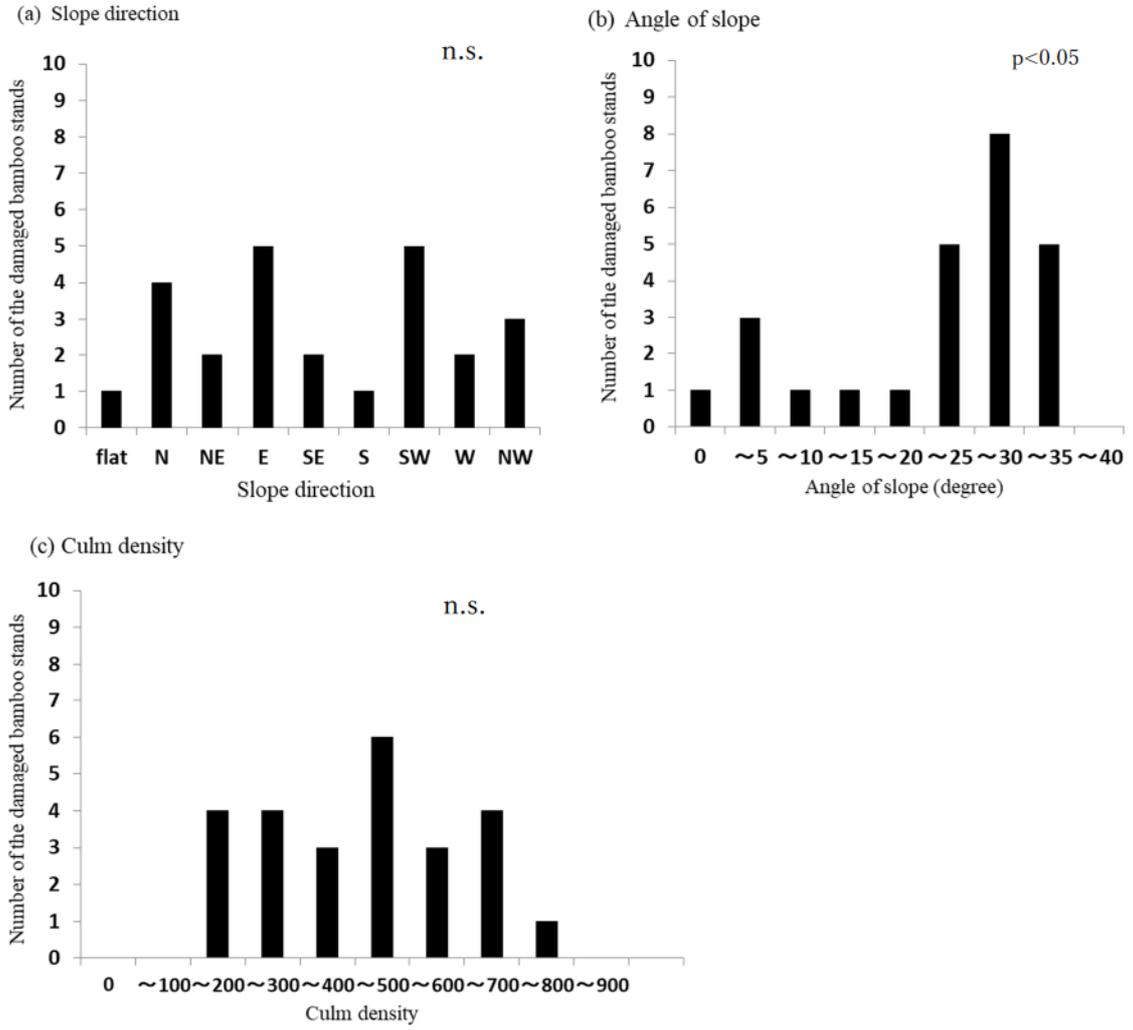


Figure 2.4. Features of damaged bamboo stands

Table 2.1. Outline of investigation site

Investigation Year	Stand Name	Angle of slope	Slope direction	Culm density (per 0.1ha)	done or not "Uradome"	damage rate (%)
2012	KG1	31	E	690	done a partially	3.3
	KG2	35	NE	240	done a partially	25.0
	KG3	32	E	180	done a partially	22.2
	KG4	0	Flat	260	done a partially	15.3
	TN1	29	NW	520	done a partially	11.5
	TN2	29	NW	660	done a partially	6.0
	TN3	29	SW	420	done a partially	4.7
	TN4	29	SW	280	done a partially	7.1
2013	KY1	28	W	250	done a partially	30.4
2016	KP1	30	SW	340	not done	41.1
	KP2	25	SW	380	done completely	5.2
	KP3	22	SE	460	not done	17.3
	KP4	35	SW	360	done a partially	44.4
	KP5	25	NW	500	done a partially	8.0
	HI1	24	SE	500	done a partially	4.0
	HI2	8	NE	620	done a partially	6.4
	FS1	4	E	160	done a partially	25.0
	FS2	26	E	160	done a partially	62.5
	FS3	25	E	160	not done	25.0
	KY2	5	S	440	done a partially	13.6
	KY3	28	N	780	not done	30.7
	KY4	15	W	460	not done	39.1
	KY5	3	N	540	not done	40.7
	KY6	34	N	700	done a partially	22.8
KY7	16	N	600	not done	26.6	

Table 2.2. Relationship snow damage and "Uradome"

	done "Uradome"		not done "Uradome"		total
damaged	9		135		144
	-5.443	**	5.443	**	-
not damaged	145		375		520
	5.443	**	-5.443	**	-
total	154		510		664
	-		-		-

above: number of the clum, below: standardized residuals

** p < 0.01

Table 2.3. Correlation coefficient between the variables in multiple regression analysis

	Angle of slope (X ₁)	Slope direction								Culm density (X ₁₀)	done or not "Uradome" done completely (X ₁₁)	done or not "Uradome" done partially (X ₁₂)	damage rate
		N (X ₂)	NE(X ₃)	E(X ₄)	SE(X ₅)	S(X ₆)	SW(X ₇)	W(X ₈)	NW(X ₉)				
Angle of slope (X ₁)	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Slope direction N (X ₂)	-0.101	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Slope direction NE(X ₃)	-0.033	-0.129	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Slope direction E(X ₄)	0.044	-0.218	-0.147	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Slope direction SE(X ₅)	0.009	-0.129	-0.087	-0.147	1.000	-	-	-	-	-	-	-	-
Slope direction S(X ₆)	-0.343	-0.089	-0.060	-0.102	-0.060	1.000	-	-	-	-	-	-	-
Slope direction SW(X ₇)	0.329	-0.218	-0.147	-0.250	-0.147	-0.102	1.000	-	-	-	-	-	-
Slope direction W(X ₈)	-0.033	-0.129	-0.087	-0.147	-0.087	-0.060	-0.147	1.000	-	-	-	-	-
Slope direction NW(X ₉)	0.175	-0.161	-0.109	-0.185	-0.109	-0.075	-0.185	-0.109	1.000	-	-	-	-
Culm density (X ₁₀)	0.041	0.548	0.006	-0.429	0.087	0.015	-0.193	-0.116	0.271	1.000	-	-	-
done or not "Uradome" done completely (X ₁₁)	0.045	-0.089	-0.060	-0.102	-0.060	-0.042	0.408	-0.060	-0.075	-0.052	1.000	-	-
done or not "Uradome" done partially (X ₁₂)	0.142	-0.402	0.202	0.129	-0.114	0.140	-0.086	-0.114	0.253	-0.145	-0.298	1.000	-
damage rate	0.005	0.250	-0.113	0.200	-0.211	-0.106	-0.033	0.257	-0.317	-0.317	-0.219	-0.303	1.000

Table 2.4. Result of multiple regression analysis with damage rate as objective variable

independent variable	B	β	t	P	correlation coefficient	
Culm density (X ₁₀)	-0.0515	-0.6175	-3.1410	0.0051	**	-0.317
Slope direction N (X ₂)	18.1103	0.4375	2.0097	0.0581		0.250
done or not "Uradome" done partially (X ₁₂)	-9.9850	-0.3069	-1.5901	0.1275		-0.303
done or not "Uradome" done completely (X ₁₁)	-23.5374	-0.3039	-1.7213	0.1006		-0.219
Angle of slope (X ₁)						0.005
Slope direction NE (X ₃)						-0.113
Slope direction E (X ₄)						0.200
Slope direction SE (X ₅)						-0.211
Slope direction S (X ₆)						-0.106
Slope direction SW (X ₇)						-0.033
Slope direction W (X ₈)						0.257
Slope direction NW (X ₉)						-0.317
constant term	48.2921		5.9544	0.0000	**	
adj R ²	0.3578					

** p < 0.01

第3章 モウソウチクのウラ止め最適時期決定への細胞壁組成および成分の影響

第1節 序論

第2章では、雪害とウラ止め管理の関係について調査を行い、ウラ止めが雪害防止に寄与することを報告した。ウラ止めは、タケノコ発生後、成長して竹になる過程で先端部分を折ったり切ったりして取り除く行為であり、その方法は、刃物を使用する方法と幹を大きく前後に揺らして反動により先端を折る方法の大きく2つがある(上田 1963)。このうち、刃物の使用は危険を伴うことがあるため、後者である振り落とし法を実施している生産者が多い。

振り落とし法によるウラ止めの時期は、生産者らの経験に基づき若い枝が1~2段階発生した時を目安にするとされている(上田 1963; 山形県 2017)。実施日は稈によって異なり、かつ数日間の非常に短い期間である。適期より早くに作業を行ってしまった場合、計画しているより下の節から折れることで残枝数が不足し稈が弱る可能性が高い。一方、適期を過ぎると、計画している部分では折ることができなくなり雪害防止の効果が弱まる。しかし、なぜ上述した時期が適期なのかについて科学的根拠は明らかになっていない。持続的なタケノコ生産のためには、ウラ止めを適切に実施し雪害防止を進めることが重要であり、適期についての科学的な理由を検証し、栽培者に理解してもらう必要がある。

本試験では、振り落とし法によるウラ止めを行った際に折れる部分の、上下の細胞壁構造や成分の違いが、最適なウラ止め時期の決定に影響しているとの仮説を立てた。これらを検証するため、実際に栽培者らの経験則に基づき適期とされている時期にウラ止めを行い、折れた部分の上下の細胞壁の組成分析、およびリグニン構造の分析を行った。また、併せてウラ止めより前の竹成長初期、ウラ止めより後の当年生成竹の細胞壁についても同様の分析を行い、比較することで、経験則として知られている時期がなぜウラ止め適期であるかを考察した。

第2節 材料と方法

2. 1 検体の採取と保存

検体の採取は山形県山辺町のモウソウチク林で行った。試験対象はウラ止め時期の稈とし、比較試験として伸長初期の稈、伸長が完了した当年生の稈の3種を使用した。ウラ止め時期の稈は2018年に発生した新竹とし、幼枝が出始めた6月中旬にウラ止めを実施した。検体数は3本とし、竹林の中から無作為に抽出した。ウラ止め実施後、折れた部分の直上、直下、4節下を採取した (Figure 3.1(a))。また、5月下旬に成長初期のタケノコ (高さ: 1.5m) を無作為に選んで1検体採取した。採取後は、地際の最基部を1節とし、節ごとに14の部位に切断した。なお、14節より上の部分で区別がつかなくなった部分は1つの部分とし、15節として扱った (Figure 3.1(b))。当年生の稈は12月中旬に無作為抽出で1本採取した (Figure 3.1(c))。全ての材料は採取後直ちに冷凍保存し、分析前に凍結乾燥試料とした。

2. 2 細胞壁組成の分析

分析に供した試料は以下のとおりであった。ウラ止め時期の稈: 節 28, 31, 32 (サンプル 1), 節 30, 33, 34 (サンプル 2), 節 30, 33, 34 (サンプル 3) (Figure 3.1(a))。伸長初期の稈: 節 10 (Figure 3.1 (b))。当年生の稈: 節 10 (Figure 3.1 (c))。細胞壁成分の定量は、日本木材学会刊行の「木質科学実験マニュアル」に準拠し、各サンプル3反復とした。試料は標準法によりソックスレー抽出器でエタノールとベンゼンの混合液 (1:2) を用いて抽出した。得られた試料を用いてワイズ法によるホロセルロースの定量を行った。ヘミセルロース量はホロセルロース量から α セルロース量を差し引いて算出した。リグニンの定量は Klason 法で行い、酸可溶性リグニンは紫外可視分光光度計 (UV1800, 島津製作所, 京都市) で 205~210nm 付近の最大吸光度を測定して求めた。

2. 3 熱分解ガスクロマトグラフィー (Py-GC) を用いたリグニン構造の分析

分析に供した試料は以下のとおりであった。ウラ止め時期の稈：節 28, 31, 32 (サンプル 1), 節 30, 33, 34 (サンプル 2), 節 30, 33, 34 (サンプル 3) (Figure 3.1(a))。伸長初期の稈：節 2, 10, 15 (Figure 3.1 (b))。当年生の稈：節 10 (Figure 3.1 (c))。パイロホイル (日本分析工業 F500) に各試料 約 0.6mg を包み, キュリーポイント型熱分解インジェクター (日本分析工業 JIC-22) にセットし, ガスクロマトグラフィー質量分析計 (GC-MS: GCMS-QP2010Ultra) (島津製作所, 京都, 日本) に以下の条件で供した。熱分解条件 500°C(5 秒), GC-MS 条件 Rtx-5MS キャピラリーカラム使用, 注入温度:250°C, カラム温度: 50°C(1 分)~320°C(5 分), インターフェース温度: 300°C, 取得質量範囲: 50~800 原子質量単位, キャリアガス:ヘリウム。得られたクロマトグラムのピークは, Ralph ら (1991) と比較して同定した。

第3節 結果と考察

3. 1 細胞壁の主要成分

はじめに、生育段階に応じた細胞壁の主要成分の分析結果を Table 3.1 に示す。ウラ止め時期の稈については、3 サンプルの平均値を示した。ウラ止め時期の稈の主成分構成比は、おおよそ α セルロース 30%、ヘミセルロース 40%、Klason リグニン 10%、酸可溶性リグニン 5%であった。この結果を成長初期段階の稈と比較すると、 α セルロース、ヘミセルロース、Klason リグニンは成長初期の稈よりも多く、酸可溶性リグニンは少なかった (Table 3.1)。一方、当年生の稈の結果と比較すると、 α セルロース、Klason リグニンはウラ止め時期の稈の方が少なく、ヘミセルロース、酸可溶性リグニンは多かった (Table 3.1)。

以上の結果から、 α セルロースは成長に伴って増加し (成長初期<ウラ止め時期<当年生)、ウラ止め期におけるセルロース沈着度合いは成長初期の稈と当年生の稈の間程度であることが示唆された。また、ウラ止め時期の稈では、地際に近い下の節ほどセルロースの堆積が進んでいると考えられた。モウソウチクの成長過程における細胞壁のセルロース結晶化度については、節間部の伸長に伴い基部から上部に向かって徐々に上昇することが報告されている (Toba et al. 2015)。今回の結果は、この報告と同様であると考えられた。

また、ウラ止め時期のリグニンについてみると、成長初期段階で確認されなかった Klason リグニンが、構成比 10%と少ないものの確認されるようになり、リグニンが沈着し始めたと考えられた。しかし、比較として分析した当年生稈の Klason リグニンの構成比が 30%であることから、ウラ止め時期はリグニン沈着の初発段階と考えられ、6 月中旬から 12 月中旬までの 6 か月の間に更にリグニンの沈着が大きく進むことが示唆された。桐生ら (2017) は、発筈後 36 日~84 日間の期間で Klason リグニンの割合が増加するとともに、酸可溶性リグニンの割合が減少し、リグニンの堆積と高分子化が同時

に進むとしており、ウラ止め時期は桐生らが報告している期間の前半部分に相当すると考えられた。また、*Sinobambusa tootsik* では、5月に始まった伸長生長は6月下旬に終了し、リグニン含量は成熟稈の約半分になることが報告されている (Tsuyama et al. 2017)。今回のリグニン含有量の結果は、種は異なるものの、この報告と同様の傾向がみられた。

次に、振り落とし法によるウラ止めで折れた上下の節の主成分構成比を Figure 3.2 に示す。3 サンプルの分析結果はほぼ同様の傾向を示した (Figure 3.2 (a), (b), (c))。αセルロース、ヘミセルロース、Klason リグニンは、ともに上<下<4節下の順に多くなり、組成比は折れた部分の下節で大きくなる傾向があった。

一方、酸可溶性リグニンは4節下<下<上の順に多く、組成比は上の節ほど大きい傾向を示した (Figure 3.2 (a), (b), (c))。これらの結果から、ウラ止め時期のセルロースとリグニンの沈着は下の節ほど進んでいることが示唆された。モウソウチクの細胞壁に含まれるセルロースの結晶化度は、節間の伸長に伴って基部から上部に向かって徐々に増加することが報告されている (Toba et al. 2015)。本研究の結果もこの報告と同様であると考えられる。Fujii ら (1993) は、竹成長過程の 6m 時点において、リグニンの前駆体である L-チロシンが中間の 3~4m 付近で急激に減少することを示し、リグニンの合成が急速に進行していることを考察している。本試験のウラ止め時期は藤井らの報告に非常に近い時期であり、ウラ止め部分上下で同様の変化が起きている可能性が考えられた。

Toba ら (2015) は、細胞壁内のセルロース結晶化度は全ての節間において竹稈の外側部分で増加しており、伸長成長による曲げモーメントの増加に対する竹稈の対策の一つであるとしている。また、桐生ら (2017) は、リグニンの堆積と重合度の増加が力学的性質の上昇に関与している可能性を示唆している。細胞壁の軸方向に配向したセルロースフィブリルが繊維の縦弾性率を最大化し、リグニン化は横剛性を増加させるとの報告もあることから (Wang et al. 2012)、ウラ止め部位上下の節のセルロース堆積度合、リグニンの沈着度合の違いが、振り落としの際の力学的作用に大きく影響していると考えら

れた。

3. 2 Py-GC によるリグニン構造の分析

ウラ止め時期の 3 サンプルの Py-GC 分析では、3 サンプルとも同じクロマトグラムが得られた。その結果、p-hydroxyphenyl(H 型), guaiacyl(G 型), syringyl(S 型)に由来する熱分解生成物が検出された (Figure 3.3)。H 型, G 型, S 型の比率は、それぞれ約 55%、30%、15%となり、折れた部分の上下でほぼ同じ結果となった (Figure 3.4)。

比較試料である成長段階初期の Py-GC の結果を Figure 3.5 に示す。分析の結果、地面に近い第 2 節では、H 型、G 型、S 型に由来する熱分解生成物が検出された。一方、より先端に近い第 10 節と第 15 節では、H 型と G 型の熱分解生成物のみが検出された。

(Figure 3.5)。H 型、G 型、S 型の比率を見ると、2 節では H 型、G 型、S 型の割合がそれぞれ約 70%、20%、2%であり、ウラ止め時期より H 型が多く、G 型、S 型は少なかった (Figure 3.6)。また、10 節、15 節の構成比はほぼ同じで、H 型が 95%以上となり G 型はわずかし確認されなかった (Figure 3.6)。

さらに、当年生稈の Py-GC 結果では、H 型、G 型、S 型に由来する熱分解生成物が検出され (Figure 3.7)、その組成比はそれぞれ約 40%、50%、10%となり、ウラ止め時期の竹より H 型は少なく、G 型が多かった。S 型はウラ止め時期と同等程度の構成比であった (Figure 3.8)。

以上の結果をまとめると、H 型、G 型、S 型由来の熱分解物の検出の有無および構成比は成長が進むにつれて変化し、H 型は相対的に減少 (成長初期>ウラ止め期>当年生)、G 型は増加 (成長初期<ウラ止め<当年生)、S 型は増加後一定 (成長初期<ウラ止め期=当年生) となる傾向がみられた。イネ科植物では、G 型前駆体と S 型前駆体に加えて、H 型前駆体も重合に寄与するとされ (飛松 2017)、S 型と G 型の比率は、稈の発育過程で変化すると報告されており (Tsuyama et al. 2017)、本試験の結果を裏付けて

いる。Zhuら(2020)は、1年目から6年目まで全てのサンプルでS、G、H型のリグニンモノマーが含まれると報告している。本研究は、この報告より早い段階の検体を使用しているため、S型由来のモノマー形成前の結果を得ることができ、3種のリグニンモノマーの増減過程の詳細を明らかにしたものといえる。また、木質化初期のリグニンは、syringyl < guaiacylで、木質化が進行するとS型が増加するとされる(Lin et al. 2002)。しかし、本試験では、S型の増加はウラ止め時期までで、それ以降一定となり、G型が増加する傾向がみられた。異なる結果となった要因については、本試験の結果のみからは明らかにできないことから、今後さらに試験を行う必要がある。

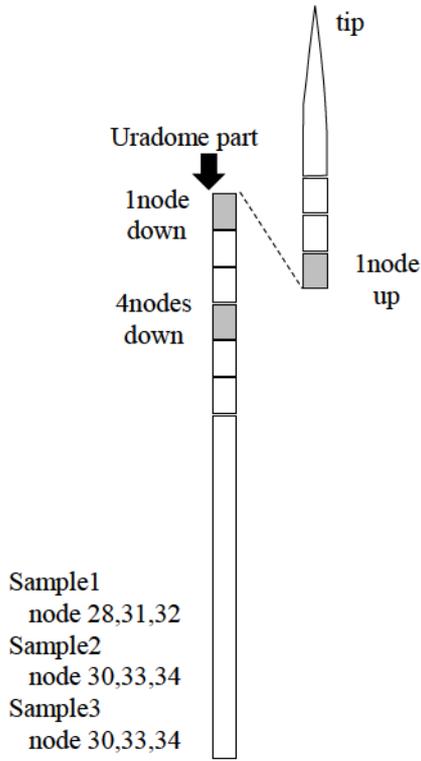
ウラ止めで折れた部分の上下の節の熱分解物については、検出された熱分解物に違いはなく、比率もほぼ同じであった。従って、リグニンの構造によるウラ止め部位決定への影響は小さいと判断された。

第4節 小括

本試験の結果から、ウラ止め時期の竹の細胞壁におけるセルロースおよびリグニンの堆積は、成長初期段階と当年生の間程度であり、ウラ止めで折れた部分の下節は、上節よりセルロースおよびリグニンの堆積が進んでいると考えられた。しかし、ウラ止めで折れた部分の上下節のリグニンの構造や比率に違いは見られなかった。このことから、ウラ止め部位の決定にはセルロースおよびリグニンの堆積度合の差が大きく影響していることが示唆された。また、生産者の経験則におけるウラ止め最適時期（竹の幼枝が1～2本発生した時）が、セルロースおよびリグニンの沈着量の変化と一致していると考えられた。

今回の結果は、これまで栽培者によって経験的に行われてきたモウソウチクの栽培管理を科学的に裏付ける新たな知見であると考えられる。今後、より適切な管理を実施し持続的な資源生産と活用に結び付けていくため、この知見を栽培者に普及していく予定である。

(a) Uradome Stage



(c) Bamboo of current year

(b) early stages of growth

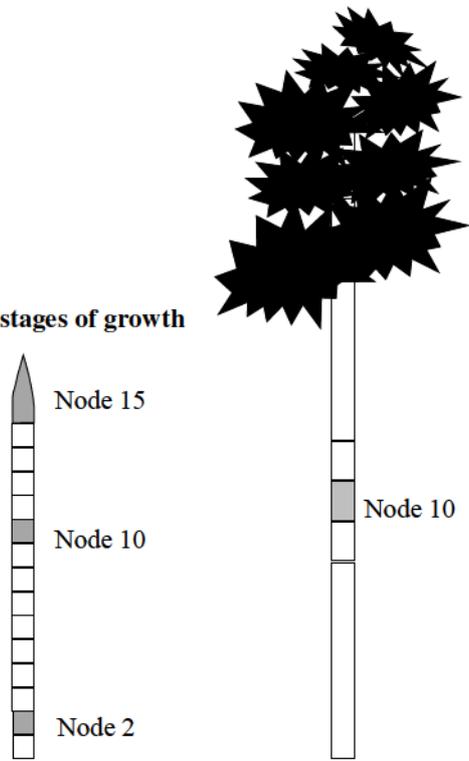


Figure 3.1. Nodes used in the experiments at each growth stage

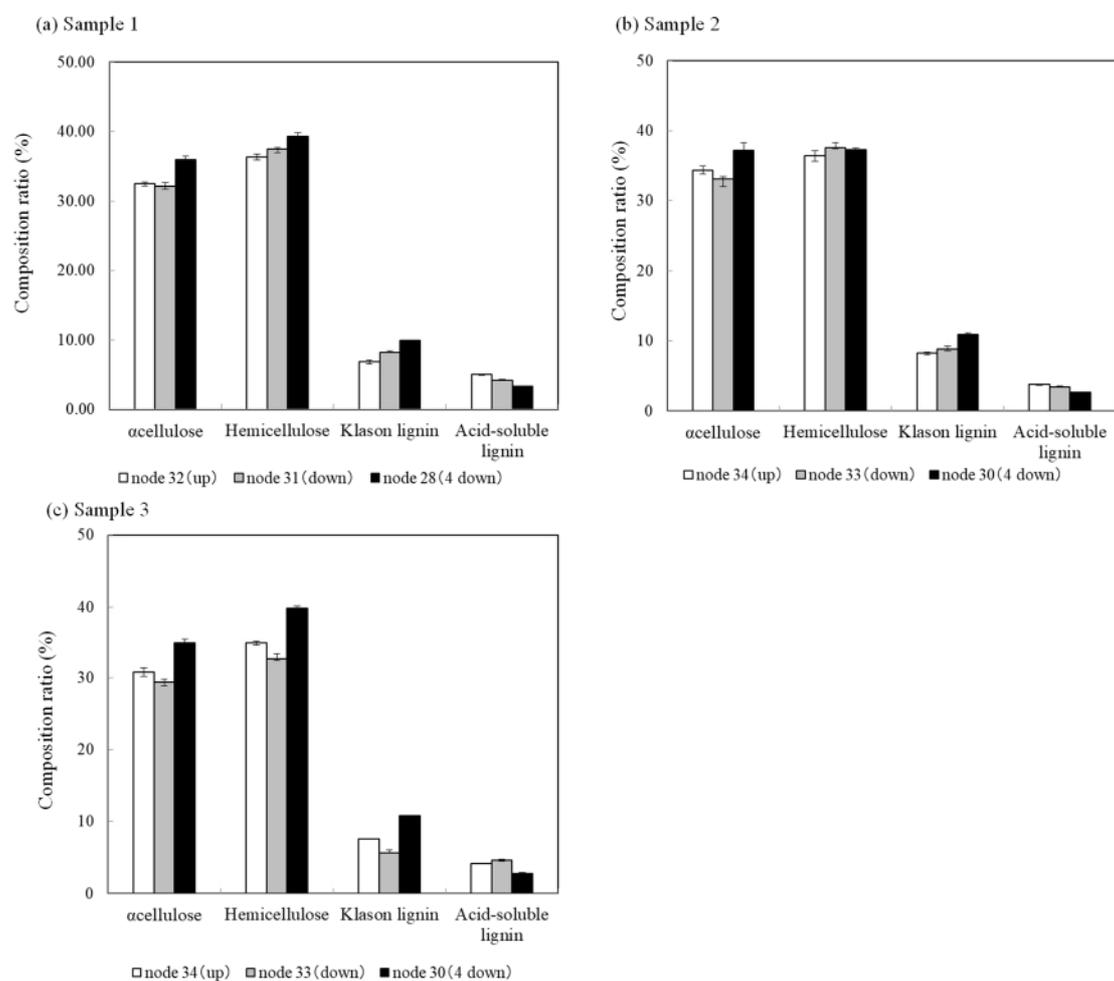


Figure 3.2. Compositional ratios of major components of “Uradome” upper and lower sections

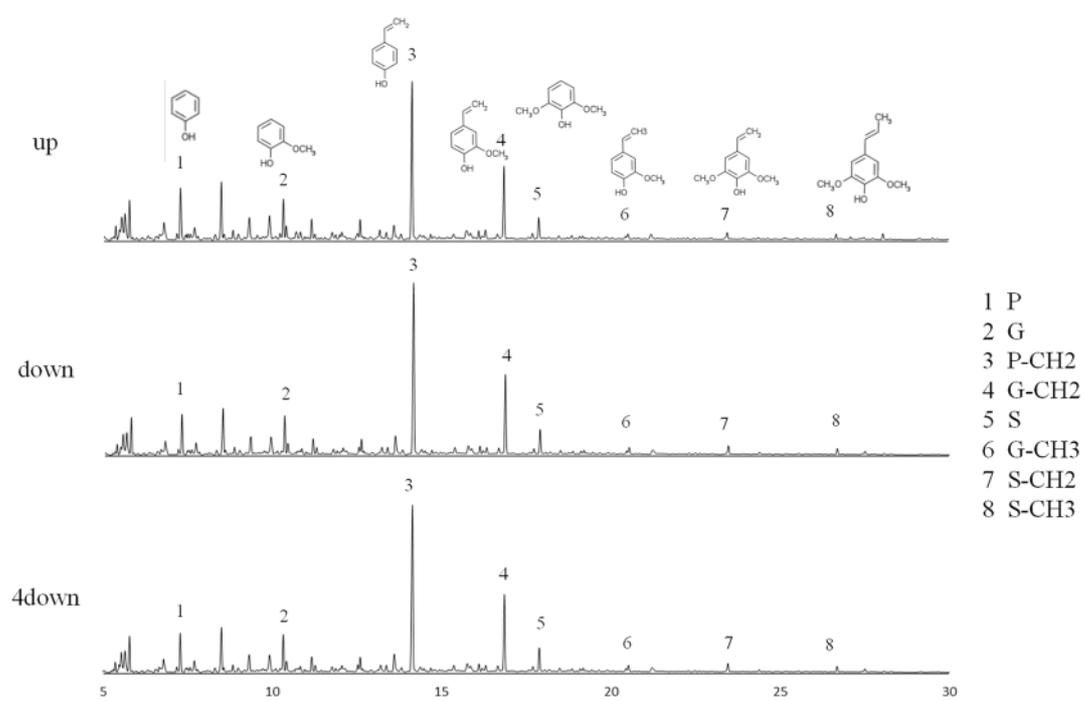


Figure 3.3. Py-GC analysis results of “Uradome” upper and lower sections

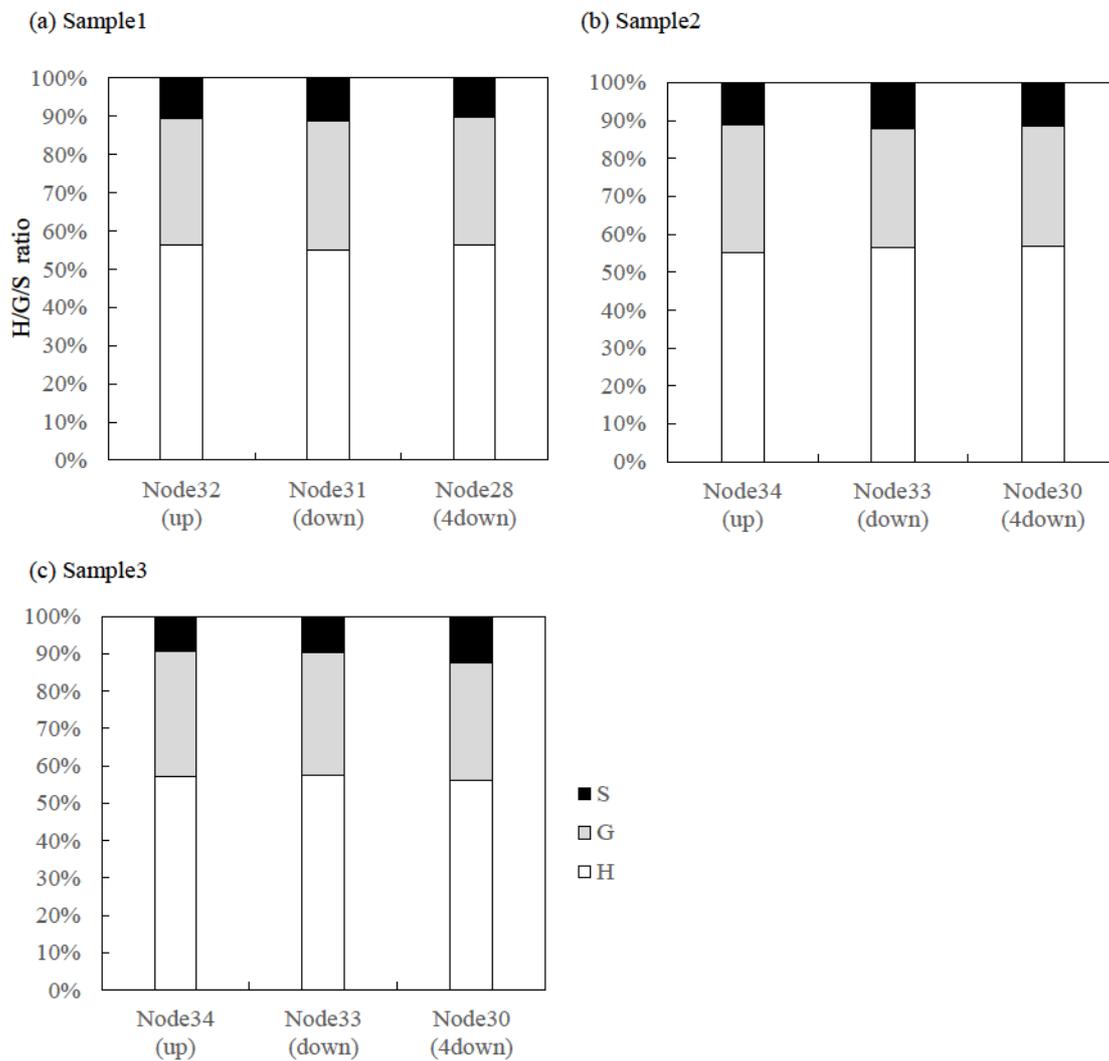


Figure 3.4. H/G/S ratio of lignin in “Uradome” period

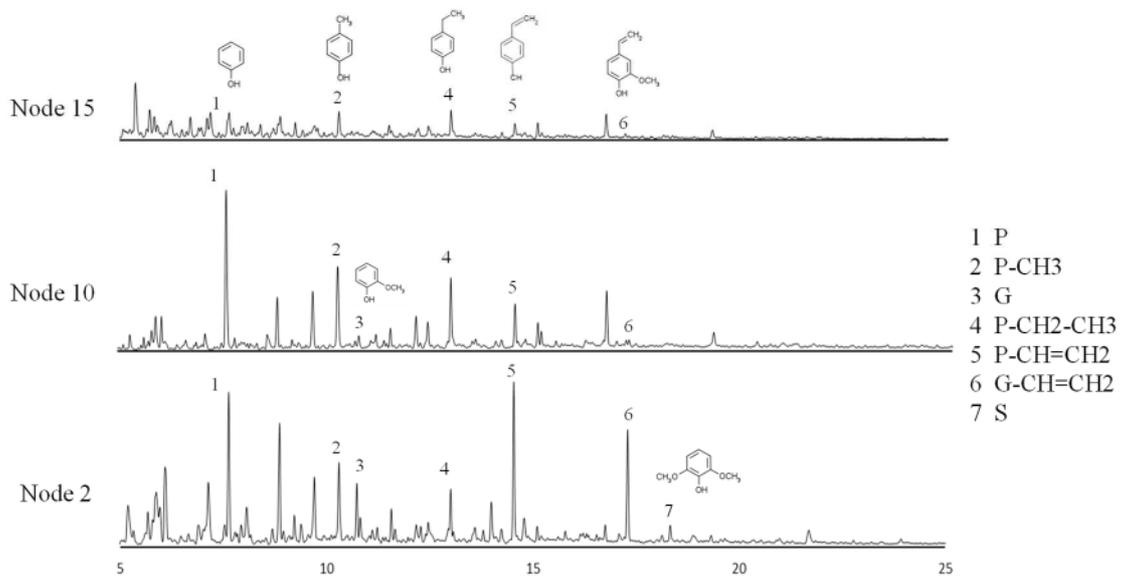


Figure 3.5. Results of Py-GC analysis of bamboo in the early growth stage

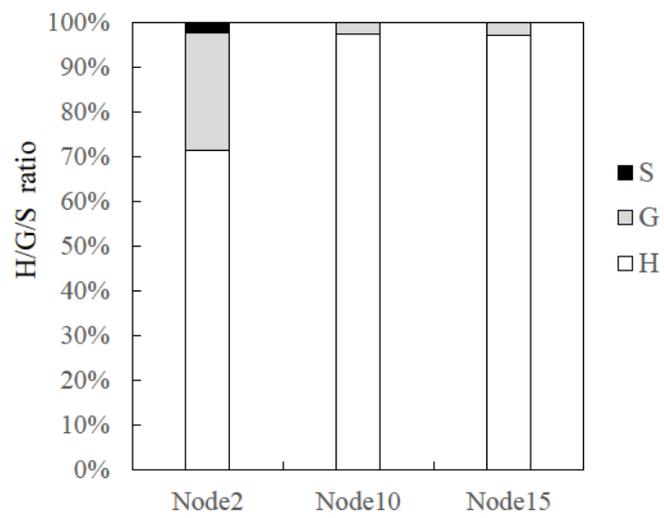


Figure 3.6. H/G/S ratio of lignin in the early growth stage

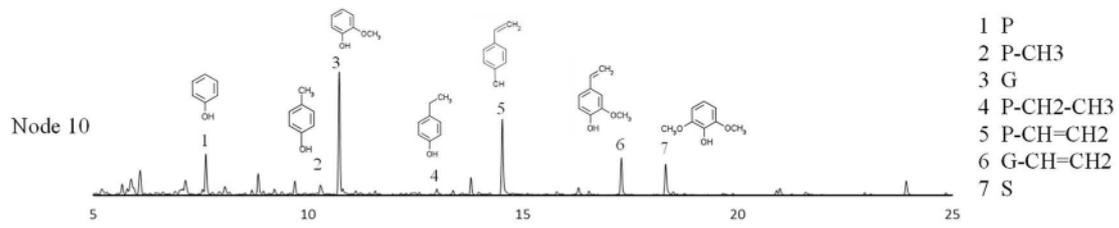


Figure 3.7. Results of Py-GC analysis of current year bamboo

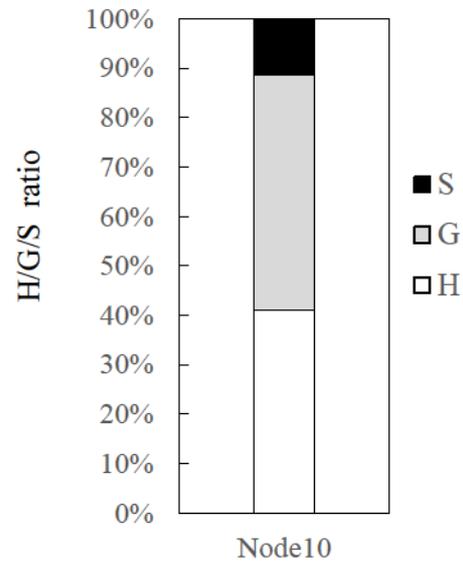


Figure 3.8. H/G/S ratio of lignin of current year bamboo

Table 3.1. Composition of major components of bamboo at each growth stage

growth stage	node	Composition ratio (% \pm SE)			
		α -cellulose	hemicellulose	Klason-lignin	Acid-soluble lignin
uradome (Average of 3 samples)	1 node up	32.55 \pm 0.58	35.92 \pm 0.36	7.56 \pm 0.23	4.32 \pm 0.18
	1 node down	31.56 \pm 0.59	35.97 \pm 0.85	7.57 \pm 0.53	4.08 \pm 0.18
	4 nodes down	36.06 \pm 0.49	38.83 \pm 0.43	10.58 \pm 0.18	2.95 \pm 0.10
early stages of growth	10	24.14 \pm 0.72	23.77 \pm 2.28	0.00	13.81 \pm 0.14
bamboo of current year	10	41.65 \pm 0.57	29.89 \pm 0.72	29.64 \pm 0.09	1.46 \pm 0.04

第4章 栽培北限付近のタケノコのエグ味

第1節 序論

山形県産のタケノコは県内需要に対し供給が追いついておらず県内消費が中心とされるが（山形県 2017）、生産地域ごとにブランド化を目指す動きがあり、付加価値を高めた販売について生産者の関心が高い。他地域との差別化を図る場合に検討される要素は、出荷時期、サイズ、品質、機能性成分のように複数存在するが、味もその1つである。タケノコ生産者は、タケノコの味、特に「エグ味」が産地によって異なることを感覚的に感じており、同じ都道府県内での産地の違いや、栽培の北限に近い積雪地で生産されたタケノコと他県で生産されたタケノコの違いに強い関心を持っている。

これまで、モウソウチクの味に関する研究は関連物質の化学分析によるものが大半であり（Hasegawa et al. 1959；小机 1976；小机ら 1988；小机ら 1989；Thammawong et al. 2009）、エグ味の要因となる主要成分は、ホモゲンチジン酸およびシュウ酸と報告されている（口羽ら 1990；Hasegawa et al. 1959）。しかし、化学分析は味覚関連物質の定量的な違いを示すことは可能であるが、定性的な違いを詳細に表現することについては不十分である。また、味覚関連物質の種類が膨大であること、味には相互作用があるため得られる結果がヒトの感覚とは異なること等の課題が指摘されている（安食 2013；福井ら 2006；池崎 2013）。このため、一般的に食品の味覚は官能試験により判断されるが、官能試験についても検査員確保の課題があること、検査員間の意見の相違や体調の影響を受ける可能性、文化および伝統や価値観の異なる各人の好みを理解することが困難といった課題がある（安食 2013；藤原ら 2010；戸井田 2012）。このため、近年、化学分析や官能評価の課題を補完する1つの方法として、品質の差別化や新製品の開発を目的に味の客観的評価を目的として開発された味覚センサーが使用されており（福井ら 2006；池崎 2013；戸井田 2012；高橋ら 2017；豊田ら 2016）、林業の分野では、なめこの味を数値化して客観的に評価した報告がある（増野ら 2020）。

本研究では、生産者が興味を持っている味に着目した。特に、県内の栽培地によってエグ味が異なるのか、また、栽培北限に近い山形県産のタケノコのエグ味が、他地域のタケノコの味とどのように異なるのかを明らかにすることを目的とした。この点を明らかにするため、従来の化学分析法を用いて、県内外で栽培されたタケノコのコホゲンチジン酸とシュウ酸の有無および含有量を定量的に評価した。また、化学分析では不十分な定性的な評価を、これまでほとんど利用されていなかった味覚センサーを用いて行った。

第2節 材料と方法

2. 1 検体採取と試料作成

試験に使用するタケノコは全8箇所から採取した (Figure 4.1)。8箇所のうち6箇所は山形県内であり、県内主要産地である庄内地域から遊佐町、三川町、鶴岡市 (三瀬、羽黒) の4カ所、他2箇所は内陸地域の山辺町、朝日町から採取した。また、県外産との比較のため、全国のタケノコ生産量上位を占める西日本以南の地域 (農林水産省 2020) から京都府、福岡県の1箇所ずつを採取地とした。

県内産タケノコは各採取地から3本ずつ採取した。発筍時期は地域で異なるため、採取時期は各採取地の初発筍確認日から約10日後とし、2017年5月上旬から下旬であった。採取したタケノコのサイズは、庄内地域タケノコ集荷場の生食出荷基準 M (600~1000g) に統一した (山形県 2017)。県外2箇所のタケノコの採取は2018年4月上旬から中旬にかけて行われ、採取された複数本の中から県内産と同じ生食出荷基準 M (600~1000g) に合致するものを3本選んだ。著者らの過去の調査では、県内で採取された生食用タケノコは県内市場出荷や産直販売を中心に流通し、採取から販売までの時間は最短で約1日で、市場での管理や販売時に冷蔵保存されることは稀であった (山形県 2017)。このため、一般的な流通に近い条件を想定し、タケノコは採取後3時間以内に山形県森林研究研修センターに運搬し、採取24時間後まで直射日光のあたらない風通しの良い場所で保存し、その後冷凍により固定した。京都府、福岡県で採取された検体についても、山形県で販売される場合の一般的な流通状態に近い条件で運搬、保存することとし、冷蔵車両で2日以内に山形県森林研究研修センターへ輸送された。到着後は、直ちに冷凍により固定した。

冷凍した全てのタケノコは約3日間凍結乾燥し検体とした。これは、凍結乾燥が処理過程において変質が少なく乾燥以前の成分がほぼ維持されること (木村 1963 ; 片山ら 1971 ; 山口ら 2012)、また、風味の点で食品本来の特性を失うような変化は起こらず官

能検査への影響もないとされ (木村 1963), 味覚センサーによる分析や化学分析への影響が少ないと考えられたためである。

2. 2 エグ味物質の化学分析

山形県庄内地方 (遊佐町) 1 検体、山形県内陸部 (朝日町) 1 検体、県外 (福岡県) 1 検体について、エグ味の主成分とされるホモゲンチジン酸とシュウ酸を分析した。

2. 2. 1 ホモゲンチジン酸分析

ホモゲンチジン酸は、ガスクロマトグラフ質量分析計 (GC-MS) を用いて分析した。凍結乾燥した各試料を脱脂後、メタノールに 3 回浸漬して抽出し、上澄みを回収した。回収した上澄みは濃縮し、メタノール定容により抽出液にした後、真空状態で溶媒を除去しメタノール抽出物を得た。得られた抽出物は TMSI-H および N, O-ビス(トリメチルシリル)アセトアミド (GL サイエンス株式会社, 東京, 日本) を用いてトリメチルシリル誘導体化し、GC-MS に供した。GC-MS データは、ガスクロマトグラフ-質量分析計 (GC-MS: GCMS-QP2010Ult1a) (島津製作所, 京都, 日本) を用いて、以下の条件で収集した。SH-Rtx-5ms キャピラリーカラム [内径 30m×0.25mm, 膜厚 0.25 μm (島津製作所, 京都, 日本)], カラム温度 100°C (1 分) ~320°C (5 分), 5°C/min, 注入温度 250°C, 界面温度 320°C, 取得質量範囲 50~800 原子質量単位, キャリアガスにヘリウムを使用。

2. 2. 2 シュウ酸分析

シュウ酸濃度は、株式会社 J. K. インターナショナル社製 E キットシュウ酸を用いて測定した。測定は、GC-MS 分析と同様に選択した 3 つのサンプルについて行った。凍結乾燥した各サンプルを生重換算で 20g 計量し、20 倍希釈量の蒸留水に 6 時間浸水した (温度による劣化を防ぐために冷蔵下で実施)。その後、ミキサーで十分に攪拌した後、3,000rpm で 5 分間遠心分離し、回収した上澄みを使用した。上澄み液は分析直前まで凍結保存した。処理方法、吸光光度条件、シュウ酸濃度の算出式は、キット付属のマニュアル

ルに従った。

2. 3 味覚分析

試料はシュウ酸濃度測定試験と同様の方法で調製した 10 倍希釈液を使用した。

分析には、 α ASTREE (アルファ・モス・ジャパン株式会社, 東京, 日本) と TS-5000Z (インテリジェントセンサーテクノロジー株式会社, 神奈川, 日本) の 2 種類の味覚センサーを使用した。

2. 3. 1 α ASTREE を用いた分析

α ASTREE は, 溶液中の味覚刺激に作用する複合成分を 7 本のセンサーによる応答パターンとして取得し, 味の数値化を行う (アルファ・モス・ジャパン 2020)。各センサーは, 化学電界効果トランジスタ (CHEMFET) に異なる共重合体を感じ膜としてコーティングしたものである (アルファ・モス・ジャパン 2020 ; 高木ら 2017)。一般に, 産業界や研究機関で使用されている CHEMFET センサーの多くは特定のイオン種のみに対応する膜を用いて設計されているが, α ASTREE に使用されているセンサーは幅広い溶存味成分との相互作用 (水素結合やファンデルワールス相互作用など) を誘発する感応材料を用いて開発されており, 複雑な味液中の多くのイオン種や中性種に感度を持っている (アルファ・モス・ジャパン 2020 ; 高木ら 2017)。CHEMFET センサーと参照電極 (Ag/AgCl) との間の電位差は, 検出膜がサンプル溶液中の味成分と接触することで変化し, 信号として検出される (アルファ・モス・ジャパン 2020 ; 高木ら 2017)。 α ASTREE では, 3 つの味 (酸味, 塩味, 旨味) はセンサーの出力から直接分析されるが, それ以外の属性の味 (渋味, 苦味, 辛味など) は分析ごとに定義を行う必要があり, 標準添加法による分析が推奨されている (アルファ・モス・ジャパン 2020)。標準添加法では, 評価対象とする味に影響していると考えられる有力な原料や標準物質を選択し, 最低 2 段階以上の濃度で添加する。本試験では上述の化学分析で含有が確認されたシュウ酸を

標準添加法の対象とし、3濃度のシュウ酸水溶液（1mM、10mM、100mM）を用い、サンプルの分析結果とともに主成分分析を行った。本試験では、各試料の測定を6回実施し、データが安定するとされている後半2回の測定値を使用し、2回の平均値を用いて主成分分析により評価した。全ての主成分分析は、エクセル統計 version 3.21（SSRI, 東京, 日本）を用いて行った。

2. 3. 2 TS-5000Z を用いた分析

生体では、味細胞の膜表面に呈味物質が吸着した際に生じる電位差が味細胞ごとに異なり、その信号が脳に伝達され、神経回路網での計算により味として認識されている（池崎 2013）。TS-5000Zはこの味認識メカニズムを模倣し、呈味成分に対して広域選択性を持つ人工脂質膜型味覚センサーが作製された（池崎 2013）。測定では、呈味物質と静電相互作用や疎水性相互作用することで発生する膜電位変化がセンサー出力としてコンピュータに検知される。TS-5000Zは、1つのセンサーから2種類の情報を検出する「CPA測定法」を採用しており（Intelligent Sensor Technology Inc 2021）、基準液の電位をゼロとし、基準液とサンプル液の電位差について食品を口に含んだ瞬間の「先味」として、センサー洗浄後再び基準液を測定したときの電位差について食品を飲み込んだ後に残る持続性のある「後味」として測定する（池崎 2013）。しかし、TS-5000Zには基本味ではないエグ味を直接測定するセンサーはない。また、エグ味には明確な定義がなく、苦味と渋味が複雑に混ざり合った味（石井 1966）や、苦味と渋味が混ざり合いかゆみを感じる味（藤井ら 2019）、などと報告されている。このため、本研究では苦味雑味（先味）、一般苦味（後味）、渋味刺激（先味）、渋味（後味）の測定値を解析の対象とした。測定は化学分析と同様に選択した3つのサンプルを用いて行った。

第3節 結果と考察

3. 1 エグ味物質の化学分析

はじめに、遊佐町（県内庄内地域）、朝日町（県内内陸地域）、福岡県（県外）産のタケノコ試料および比較として分析したホモゲンチジン酸単体のクロマトグラフを Figure 4.2 に示す。分析の結果、主に単糖類、二糖類が検出され、3 検体全てでホモゲンチジン酸は検出されなかった（Figure 4.2）。しかし、ホモゲンチジン酸の前駆体であるチロシンが全ての試料から検出された（Figure 4.2）。

次に、E キットシュウ酸を用いて、遊佐町（県内庄内地域）、朝日町（県内内陸地域）、福岡県（県外）のタケノコ試料のシュウ酸濃度を測定した結果を Figure 4.3 に示す。測定の結果、遊佐町 84.85mg/L、朝日町 100.60mg/L、福岡県 74.71mg/L のシュウ酸が検出され、濃度の高い方から順に、朝日町、遊佐町、福岡県となった（Figure 4.3）。

以上の測定結果から、エグ味の主要物質とされるシュウ酸は全てのサンプルから検出された。ホモゲンチジン酸が検出されていないことから、本試験におけるタケノコのエグ味の要因はシュウ酸である可能性が高いと考えられた。

3. 2 味覚分析

はじめに、 α ASTREE を用いて全てのタケノコおよび3 濃度のシュウ酸溶液を測定し、主成分分析を行った結果を Figure 4.4 に示す。第1 主成分の寄与率は 95.22%、第2 主成分の寄与率は 3.85% で1 主成分と第2 主成分で約 99% が説明された。解析の結果、山形県産と県外産のタケノコの味は、地域によって大きく2 つに分かれた（Figure 4.4）。一方、山形県産のタケノコについてみると庄内産と内陸産はほぼ同じ場所にプロットされ、味に大きな差はなかった（Figure 4.4）。3 濃度のシュウ酸溶液の味は濃度が高くなるにつれて第1 主成分と第2 主成分が増加する方向にプロットされた。この結果から、図の右上方向にプロットされた県内産のサンプルはシュウ酸味が強く、県外産タケノコ

は県内産と比べてシュウ酸味が弱いことが示された (Figure 4.4)。この結果は、化学分析によるシュウ酸濃度測定の結果と同じ傾向を示した (Figure 4.3, Figure 4.4)。

次に、TS-5000Z を用いた分析結果を Figure 4.5 に示す。遊佐町で採取したタケノコの苦味雑味 (先味)、一般苦味 (後味) の値を 0.00 とすると、朝日町で採取したタケノコは苦味雑味 (先味) が 0.16、一般苦味 (後味) が 0.25 となり、先味、後味ともに苦味は大きかった (Figure 4.5)。一方、福岡県で採取したタケノコは苦味雑味 (先味) が -0.48、一般苦味 (後味) が -0.06 となり、先味、後味ともに苦味は少なかった (Figure 4.5)。以上の結果から、タケノコの苦みは、先味、後味ともに大きい方から朝日町、遊佐町、福岡県の順となり、この傾向は、化学分析や α ASTREE を用いた場合と同様であった (Figure 4.3, Figure 4.4, Figure 4.5)。

渋味刺激 (先味)、渋味 (後味) については、遊佐町のタケノコの値を 0.00 とした場合、朝日町のタケノコでは渋味刺激 (先味) -0.50、渋味 (後味) 0.06 となり、先味は小さく、後味は大きかった (Figure 4.5)。また、福岡県のサンプルでは渋味刺激 (先味) 0.18、渋味 (後味) 0.15 となり、先味、後味とも大きかった (Figure 4.5)。以上の結果から、渋味刺激 (先味)、渋味 (後味) については、化学分析の結果と α ASTREE の測定結果は異なる傾向にあり関連性はみられなかった (Figure 4.3, Figure 4.4, Figure 4.5)。

味覚センサー α ASTREE による分析において、全 8 か所のタケノコの味は県内産と県外産に分かれ、県内産タケノコのシュウ酸味の方が強いことが示された。また、この結果はシュウ酸濃度測定の結果と同じ傾向を示した (Figure 4.3, Figure 4.4)。さらに、味覚センサー TS-5000Z による苦味雑味 (先味)、一般苦味 (後味) の結果は、シュウ酸濃度測定および α ATEREE を用いた分析結果と同じ傾向を示した (Figure 4.3, Figure 4.4, Figure 4.5)。以上のことから、化学分析による定量的な評価のみならず味覚センサーによる定性的な評価も含め、モウソウチクのタケノコは産地によってエグ味に違いがあることが明らかとなった。また、化学分析と味覚分析の結果は同様の傾向を示し、栽培北

限に近い山形県産のタケノコは、京都府や福岡県産のタケノコよりもエグ味が強いことが示唆された。タケノコ生産者が経験的に感じていた産地間のエグ味の違いについて、定性的な分析方法によっても示された今回の結果は非常に興味深いといえる。一方、味覚センサーTS-5000Zによる渋味刺激（先味）、渋味（後味）の分析においては、シュウ酸濃度測定や α ATEREE 分析の結果とは異なる結果となった（Figure 4.3, Figure 4.4, Figure 4.5）。本研究で使用した TS-5000Z にはエグ味を直接測定するセンサーがなく、過去の報告（石井 1966；藤井ら 2019）においてエグ味は苦味と渋味を混合した味であると表現されていることから、渋味刺激（先味）および渋味（後味）を分析の対象とした。その結果、TS-5000Z がシュウ酸味に反応した場合、渋味刺激（先味）、渋味（後味）としてではなく、苦味雑味（先味）、一般苦味（後味）として認識される可能性が示唆された。また、本研究のサンプルで測定された渋味刺激（先味）および渋味（後味）に関連する物質は、シュウ酸以外の物質であると考えられた。

また、シュウ酸濃度測定を行った県内産の 2 サンプル（朝日町、遊佐町）において、シュウ酸濃度には差があったものの、 α ASTREE による分析結果では、味覚にほとんど差はなかった。この結果は、関連物質の濃度と味覚には単純な相関関係がないことを示唆しており、味覚センサーを用いた定性評価の有効性が改めて示されたといえる。さらに、これまでの報告では、シュウ酸はホモゲンチジン酸のエグ味を強める働きをされるとされていた（口羽ら 1990）。しかし、本試験の結果では、ホモゲンチジン酸はほとんど存在せず、エグ味はシュウ酸濃度と連動する結果であったことから、シュウ酸は単にホモゲンチジン酸のエグ味を強める働きをしているのみではないことが明らかとなり、この結果についても、味覚センサーを用いたことで明らかになった質的な違いの一つであった。

産地によりエグ味が異なる要因について、国内のモウソウチクはクローンでほぼ同じであるため（Isagi et al. 2016）、味の違いは系統によるものではないと考えられる。また、

タケノコ発生後の検体採取までの期間や採取検体のサイズについても統一していることから、これらが味に大きく影響する要因ではなかったと考えられる。一方、本試験の検体採取およびサンプル調製時において、栽培環境と流通過程での保存方法の2つは統一されていない。栽培環境については、親竹の稈密度の違いによる照度の違いや、土壌の違い等が要因として考えられるものの、栽培環境とタケノコの味の相互関係についてはこれまで報告されていない。今後、これらの相互関係を明らかにすることで、栽培環境の調整によりタケノコの味をコントロールできる可能性がある。また、流通過程における保存方法については、山形県内で販売することを前提とした現行の方法に従って試験を行った。今後、山形県産、県外産のいずれの検体についても同条件で保存を行った場合の味の違いを調査する必要があると考えられた。さらに、県外産サンプルは、京都府と福岡県の2カ所のみに残ったことから、より多くの地域から採取したサンプルを用いた分析が必要である。

第4節 小括

本章では、生産者が興味を持っているタケノコの味に着目し分析をおこなった。その結果、栽培地の違いによるエグ味の違いを示すことができ、生産者の経験を科学的に明らかにできた点で意義のある知見であると考ええる。栽培北限に近い山形県産のタケノコのエグ味の特徴を示すことができたため、これらを生産者に普及することで今後の栽培や流通、販路の検討に活用できるものと考えられる。また、これまでの研究でほとんど実施されていない、化学分析と味覚分析の両者を使用した特用林産物の評価を行ったことで、その有効性を改めて示すことができた。この手法により、他の特用林産物についても味覚という観点からの評価が可能になるという点においても、意義のある知見となったと考える。

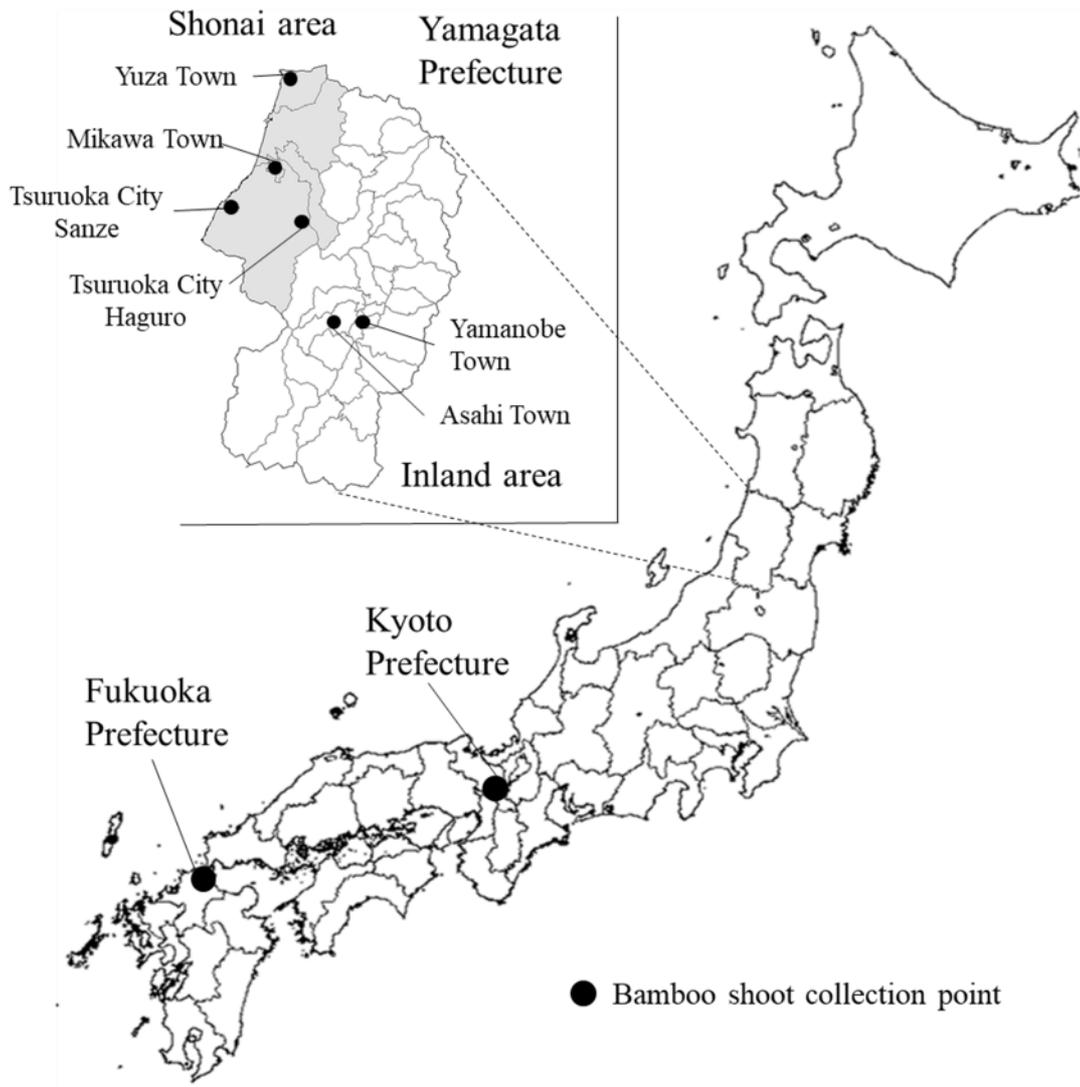


Figure 4.1. Bamboo shoot collection sites

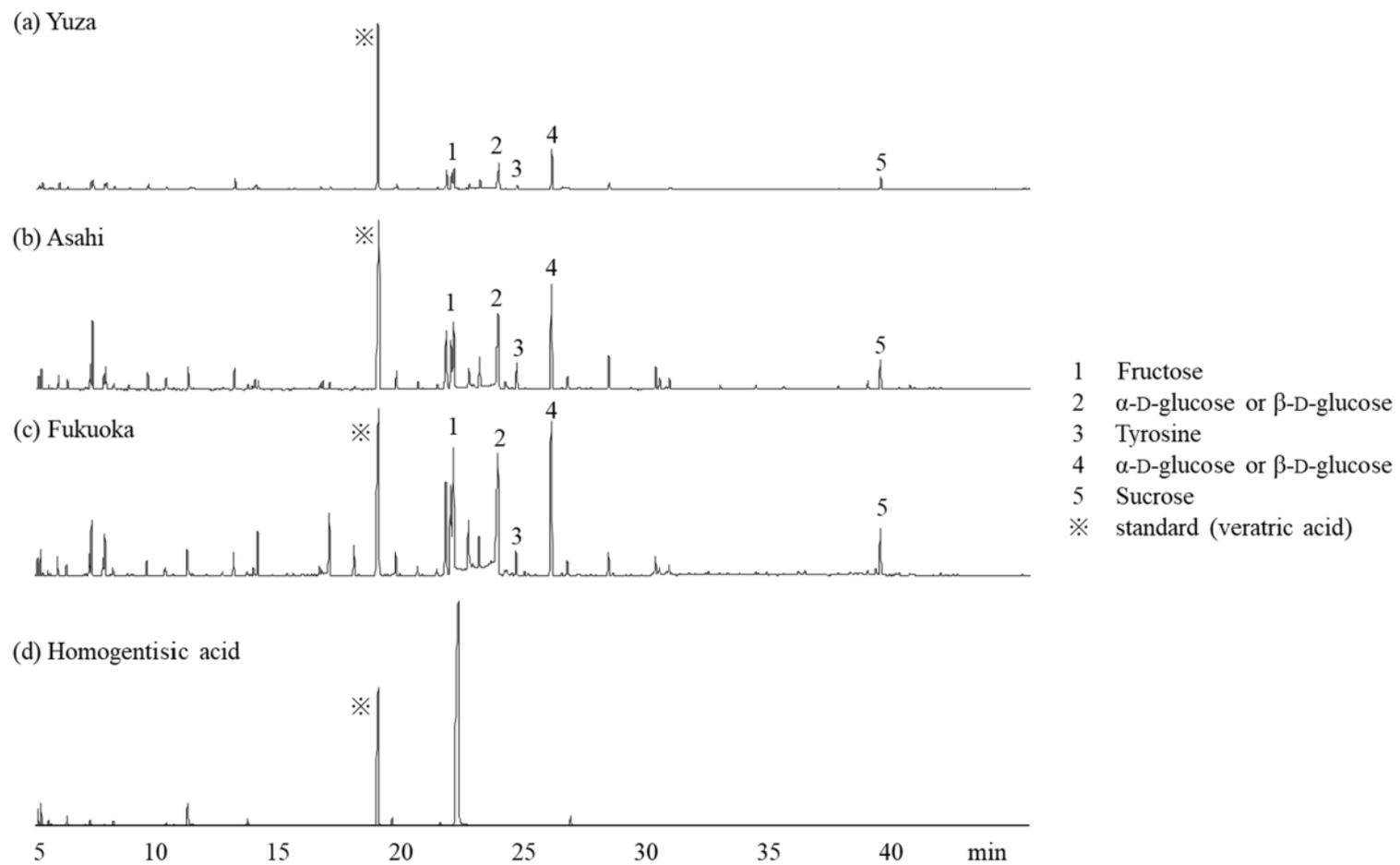


Figure 4.2. Chromatogram of the three bamboo shoot samples and homogentisic acid

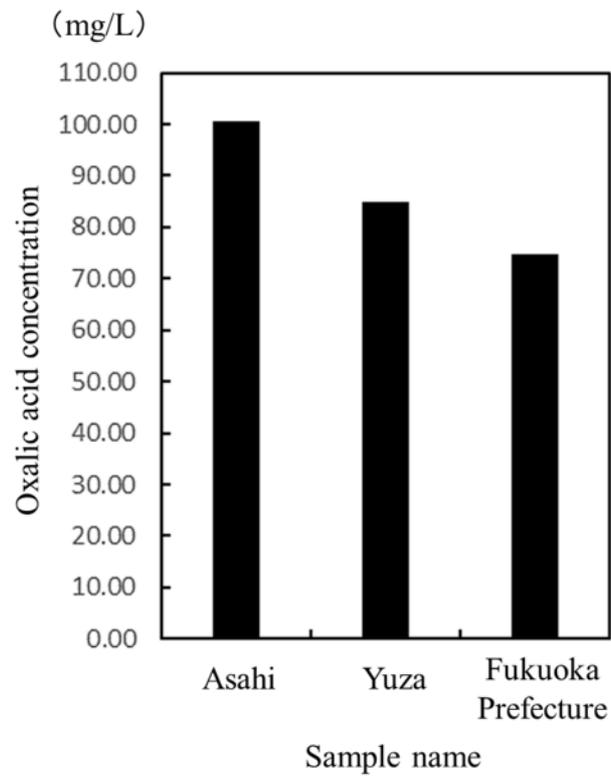


Figure 4.3. Oxalic Acid Content of Bamboo Shoots by Production Area

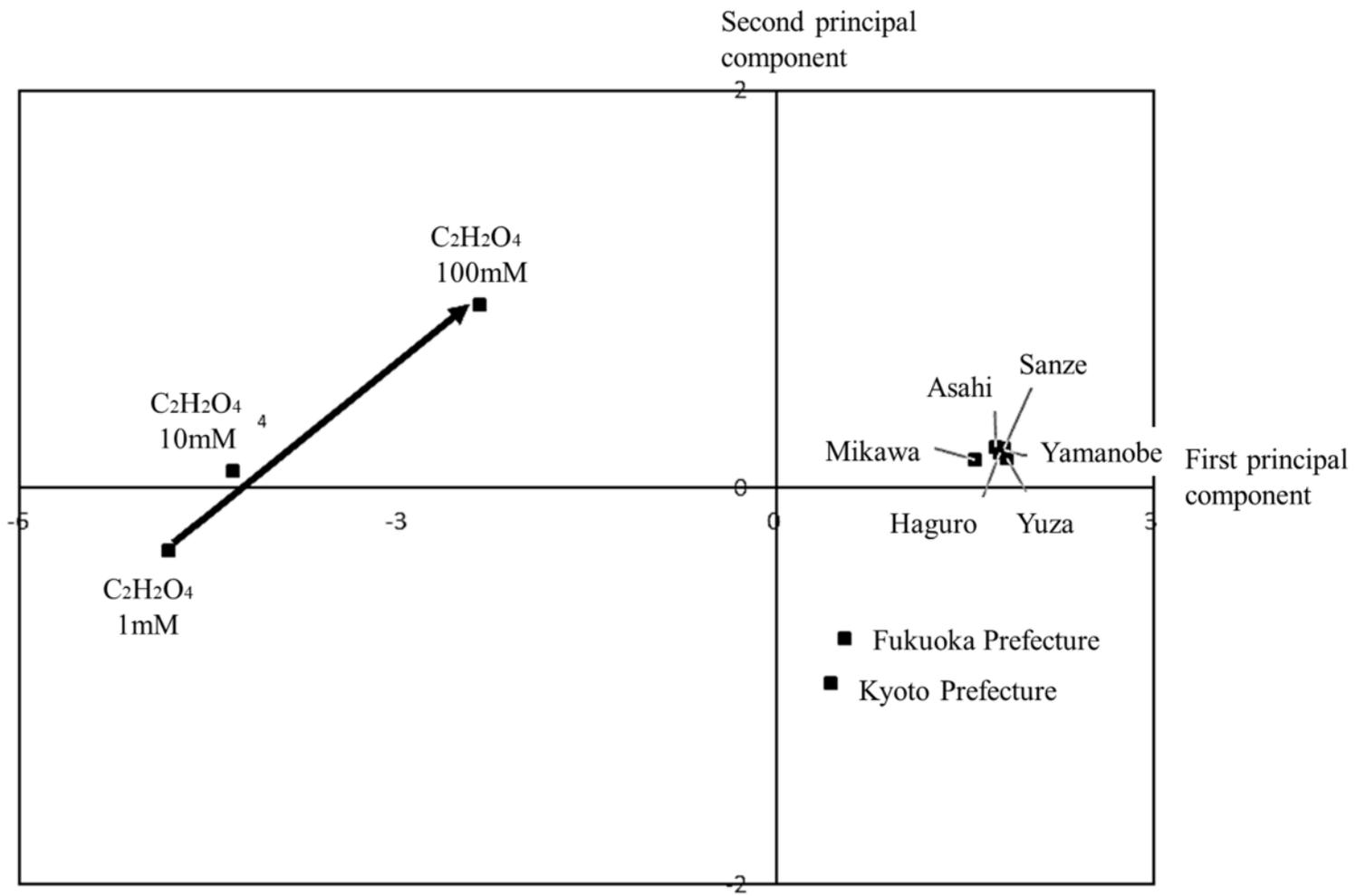


Figure 4.4. Trend in oxalic acid taste and plot of bamboo shoots

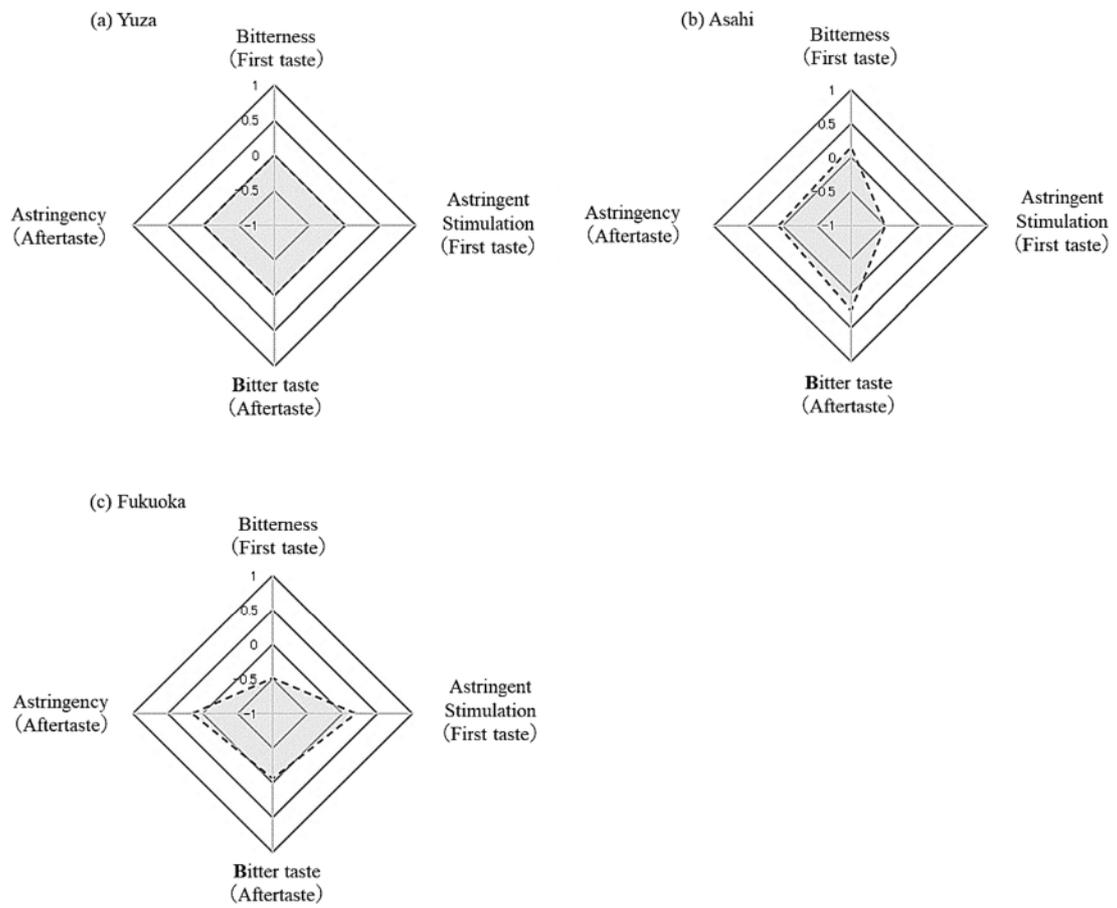


Figure 4.5. TS-5000Z analysis of bamboo shoots by production area

第5章 ウラ止め穂先の食用利用の可能性

第1節 序論

第2章では、積雪地域のタケノコ栽培林におけるウラ止めの雪害防止効果について、第3章ではウラ止め実施の適期と細胞壁成分の関係について述べた。上述した内容を生産者へ普及することにより、ウラ止めの実施促進が期待されるが、実施のメリットを増加し、更なる動機付けがなされることが望ましい。

ウラ止めを行った際には、折り取った穂先が発生する（以下、ウラ止め穂先と記載）（Figure 5.1）。ウラ止め穂先は、著者の聞き取りにより、山形県遊佐町、山辺町といった非常に限られた地域で食されているという情報があるものの、公表された明確な報告はなく、大半が未利用のまま廃棄されていると考えられる。ウラ止め穂先の味や成分について調査し食用の可能性を示すことができれば、未利用資源の活用の一助となる。

本研究では、ウラ止め穂先について、味覚センサーを使用した味の定性的な評価を行った。評価は、第4章においても着目した「エグ味」について行うとともに、山菜やきのこといった特用林産物の味として着目されることが多い「旨味」についても対象とした。また、生理機能や味の視点から、遊離アミノ酸18種について含有量を調査し、タケノコの結果と比較することで、ウラ止め穂先の食用の可能性を考察した。

第2節 材料と方法

2. 1 検体採取と試料作成

試験に使用するウラ止め穂先は、山形県山辺町から採取した。採取は、第3章と同様に2018年に発生した新竹とし、稈を大きく前後に揺らして反動により先端を折る振り落とし法で行い（上田 1963）、実施適期とされる下枝が1~2本発生した6月中旬に行った（上田 1963；山形県 2017）。採取後は皮を剥いた状態とし冷凍保存した。比較試験として使用したタケノコは、第4章で述べたものと同じのものである。全ての検体は冷凍保存後、約3日間凍結乾燥を行い試料とした。

2. 2 味覚分析

凍結乾燥したサンプルを生重換算で20g計量し、10倍希釈量の蒸留水に6時間浸水した（温度による劣化を防ぐために冷蔵下で実施）。その後、ミキサーで十分に攪拌した後、3,000rpmで5分間遠心分離し、回収した上澄を使用した。上澄液は分析直前まで凍結保存した。

分析には、 α ASTREE（アルファ・モス・ジャパン株式会社、東京、日本）とTS-5000Z（インテリジェントセンサーテクノロジー株式会社、神奈川、日本）の2種類の味覚センサーを使用した。

2. 3. 1 α ASTREEを用いた分析

α ASTREEの分析原理は第4章で述べたとおりである。エグ味については、第4章のタケノコの味覚分析において大きく影響していると考えられたシュウ酸を標準添加法の対象とし、ウラ止め穂先、3濃度のシュウ酸水溶液（1mM、10mM、100mM）、比較試料として山形県内産タケノコの分析結果について主成分分析を行った。

また、 α ASTREEの7本のセンサーの1本である「NMS」は旨味の方を示し、NMSのセンサーが示す逆方向ほど旨味が強い（アルファ・モス・ジャパン 2020）。このた

め、ウラ止め穂先、比較試料である山形県内産タケノコの分析結果について主成分分析を行い、その結果に NMS のセンサー逆方向を加えて考察を行った。

本試験では、各試料の測定を 6 回実施し、データが安定するとされている後半 2 回の測定値を使用し、2 回の平均値を用いて主成分分析により評価した。全ての主成分分析は、エクセル統計 version 3.21 (SSRI, 東京, 日本) を用いて行った。

2. 3. 2 TS-5000Z を用いた分析

TS-5000Z の分析原理は第 4 章で述べたとおりである。本研究では、第 4 章でエグ味との関連性が示された苦味雑味（先味）、一般苦味（後味）の測定値、加えて、旨味（先味）、旨味コク（後味）の測定値を解析の対象とした。測定は、第 4 章と同様に山形県遊佐町のタケノコを基準とし、ウラ止め穂先について実施した。

2. 3. 遊離アミノ酸分析

ウラ止め穂先、同一箇所採取したタケノコ（比較試料）の遊離アミノ酸 18 種について、試料 100g 当たりの含有量分析を行った。分析は専門機関である一般財団法人 日本食品分析センターに依頼し、アミノ酸自動分析法および高速液体クロマトグラフを用いて行われた。

第3節 結果と考察

3. 1 味覚分析

はじめに、ウラ止め穂先の試料を α ASTREE に供し、第4章で示した山形県内6箇所
で採取したタケノコおよび3濃度のシュウ酸溶液の測定値と併せて主成分分析を行っ
た結果を Figure 5.2. に示す。第1主成分の寄与率は96.79%、第2主成分の寄与率は2.34%
で1主成分と第2主成分で約99%が説明された。ウラ止め穂先の味は県内産タケノコ
から離れた位置にプロットされた (Figure 5.2.)。3濃度のシュウ酸溶液の味は濃度が高
くなるにつれて第1主成分と第2主成分が増加する方向にプロットされた (Figure 5.2.)。
この結果から、ウラ止め穂先は山形県産のタケノコと比較しシュウ酸味が弱いことが示
された (Figure 5.2.)。

次に、 α ASTREE の分析結果に旨味のセンサー出力方向を加えたものを Figure 5.3. に
示す。1主成分と第2主成分の累積寄与率は93.11%であり、1主成分と第2主成分で
90%以上が説明された。旨味は、センサーNMS の出力と逆方向に強くなるとされてお
り、第1主成分が減少する方向ほど旨味が強かった (Figure 5.3.)。ウラ止め穂先は、山
形県内産タケノコと比較して第1主成分が減少する位置にプロットされており、
山形県内産タケノコよりも旨味が強いことが示された (Figure 5.3.)

さらに、山形県遊佐町のタケノコを基準とし、ウラ止め穂先について TS-5000Z を用
いて苦味雑味 (先味)、一般苦味 (後味)、旨味 (先味)、旨味コク (後味) について測定
した結果を Figure 5.4. に示す。ウラ止め穂先の苦味雑味 (先味) の値は-0.76、一般苦味
(後味) の値は-0.19 となり、先味、後味ともにタケノコ検体よりも数値は小さく、苦
味が少なかった (Figure 5.4.)。また、ウラ止め穂先の旨味 (先味) の値は-0.91、旨味
コク (後味) の値は0.46 となり、口に含んだ瞬間に感じる旨味はタケノコより弱く、飲
み込んだ後に残る持続性のある旨味はタケノコより強いことが示された (Figure 5.4.)。

2種の味覚センサーによる分析の結果、 α ASTREE の分析ではウラ止め穂先のシュウ

酸味が山形県産のタケノコより弱く、TS-5000Z の分析では先味、後味ともにタケノコ検体よりも苦味が少ないといった同様の傾向が示され、ウラ止め穂先のエグ味はタケノコよりも少ないことが示唆された。第4章でも述べた通り、タケノコ生産者は味覚の中でも特にエグ味の多少について関心が大きい。エグ味の少なさが示された本試験の結果は、ウラ止め穂先の食用を検討する上で大きな利点となると考えられた。

また、 α ASTREE を用いた分析では、ウラ止め穂先の方が山形県内産タケノコよりも旨味が強い結果であった。一方、TS-5000Z の分析では、旨味先味はタケノコより弱く、旨味後味はタケノコより強い結果となった。これらの結果から、 α ASTREE の示す旨味の出力については、TS-5000Z の分析における「後味」と同様の傾向を示す可能性が高いと考えられた。旨味コク（後味）は旨味物質が呈する持続性のあるコク味を示すとされる (Intelligent Sensor Technology Inc 2021)。コク味が持続するという点についても、エグ味の少なさと同様に、ウラ止め穂先の呈味における大きな特徴として提示できるものと考えられた。

3. 2 遊離アミノ酸分析

ウラ止め穂先および同一箇所採取したタケノコの、遊離アミノ酸 18 種の分析結果を Figure 5.5. に示す。分析の結果、シスチンはいずれの検体でも検出されず、その他 17 種がいずれかの検体で検出された (Figure 5.5.)。17 種のアミノ酸のうち、チロシン、プロリン、グルタミン酸、アスパラギン酸、トリプトファンはタケノコの含有量が多く、メチオニンはほぼ同量、その他 11 種はウラ止め穂先の含有量の方が多い結果であった (Figure 5.5.)。

本試験で分析を行った遊離アミノ酸 18 種のうち 9 種が、体内で生合成できない必須アミノ酸である (ロイシン, イソロイシン, リジン, メチオニン, フェニルアラニン, スレオニン, トリプトファン, バリン, ヒスチジン) (日本食品分析センター 2019)。

アミノ酸がペプチド結合でつながったタンパク質の栄養価は、構成するアミノ酸組成、特に必須アミノ酸のバランスにより評価され（日本食品分析センター 2019）、食品利用の検討において、必須アミノ酸含有量が多いことは利点となりうる。本試験の結果から、必須アミノ酸9種うちトリプトファン以外の8種はウラ止め穂先の含有量が多い、またはタケノコとほぼ同量であることが示された（Figure 5.5.）。このため、必須アミノ酸を多く含む点からもウラ止め穂先の食用の可能性が高まったと考えられる。

また、ロイシンはウラ止め穂先からのみ検出された（Figure 5.5.）。ロイシンは、筋タンパク質合成強化の生理機能を持つとされる BCAA（バリン、ロイシン、イソロイシン）の1つとして一般的に知られている（日本食品分析センター 2019）。一般的に機能性が認知され、また、必須アミノ酸でもあるロイシンについてウラ止め穂先から摂取できる点は、タケノコと比較した際の特徴であると考えられた。

旨味の点から結果をみると、大きく影響すると考えられる遊離アミノ酸はグルタミン酸である（日下部 2013）。グルタミン酸の含有量はタケノコの方がウラ止め穂先より多かった（Figure 5.5.）。この結果は、ウラ止め穂先の旨味（先味）の値がタケノコより小さいことが示された TS-5000Z での旨味の分析結果に関連していると推測される（タケノコを 0 として -0.91）。一方、3つのアミノ酸から構成されるトリペプチドにはコク味を有する化合物が存在し、代表的な化合物に γ -グルタミル-バリル-グリシンがある（宮野 2020）。 γ -グルタミル-バリル-グリシンを構成するアミノ酸は、グルタミン酸、バリン、グリシンであり、本試験では、グルタミン酸はウラ止め穂先の方が少なかったものの、バリン、グリシンはウラ止め穂先の方が多かった。この点から、継続した後味に係るコク味が強かった可能性が考えられる。

さらに、本試験では、タケノコ、ウラ止め穂先ともにチロシンが他の遊離アミノ酸と比較して多く検出された。イネ科植物では L-チロシンを経由してリグニンを生合成する付加的経路が存在する（樋口 1990）。タケノコにおいては、先端部から木化の進行し

つつある基部にかけ、L-チロシンから p-クマール酸への脱アンモニア反応を触媒するアンモニアリアーゼの活性が著しく高いことが報告されている (樋口 1990)。また、イネ科植物、特に竹類の中でも、モウソウチクは L-チロシンを通る径路が非常に重要な役割をしており、他の植物ではみられない特異な径路である (野村 1980)。節間生長とチロシン分布の調査では、節間生長曲線の変曲点附近の節間に最大量のチロシンが含まれており、細胞分裂と伸長によって節間が伸びようとしつつある部分に大量のチロシンがプールされている (野村 1980)。ウラ止めは、既に竹の伸長とリグニン化が進んだ段階で行われる作業であるため、穂先のチロシン含有量は、伸長やリグニン化が進行しているタケノコよりも少ない可能性が考えられた。

第4節 小括

本章では、第2章、第3章で述べたウラ止めの穂先に着目し、現在多くが未利用と考えられる穂先の食用の可能性を探るため、エグ味と旨味の評価、遊離アミノ酸含有量を調査しタケノコとの比較を行った。その結果、エグ味はタケノコより弱く、旨味は強いことが明らかとなり、味の点で食用に有利な特徴が示された。また、遊離アミノ酸の分析では、ウラ止め穂先はタケノコと比較し必須アミノ酸を多く含むこと、一般的にBCAAの1つとして知られているロイシンがウラ止め穂先からのみ検出されたことが生理機能の点からも大きな特徴であり、食用を検討する上で利点であると考えられる。以上の結果から、味、生理機能の点でウラ止め穂先の食用の可能性は高まったといえる。今後、食感や硬さ等の物理的特性についても調査を行うことで、食用の可能性をさらに高めていく必要がある。

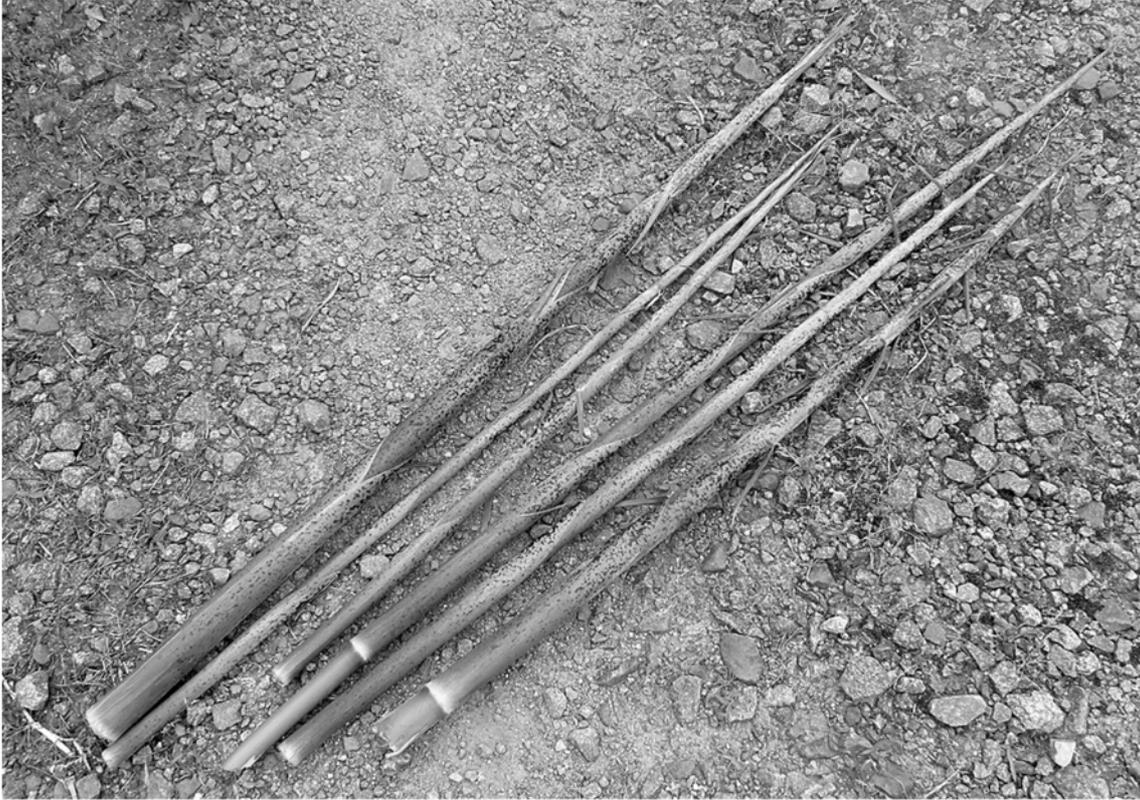


Fig.5.1 Bamboo tips generated by Uradome

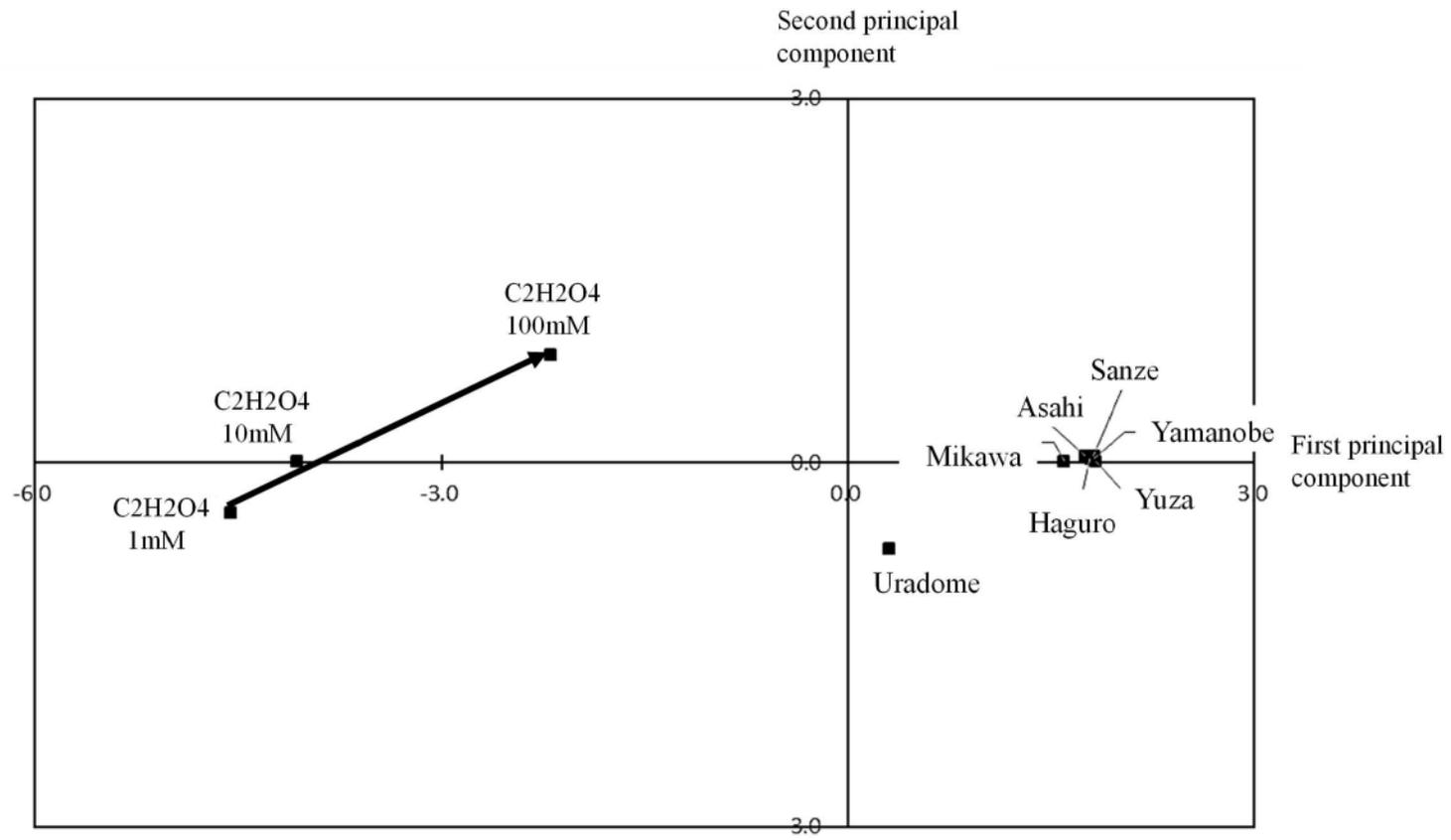


Fig 5.2. Oxalic acid taste of bamboo shoots and Uradome tip by α -ASTREE

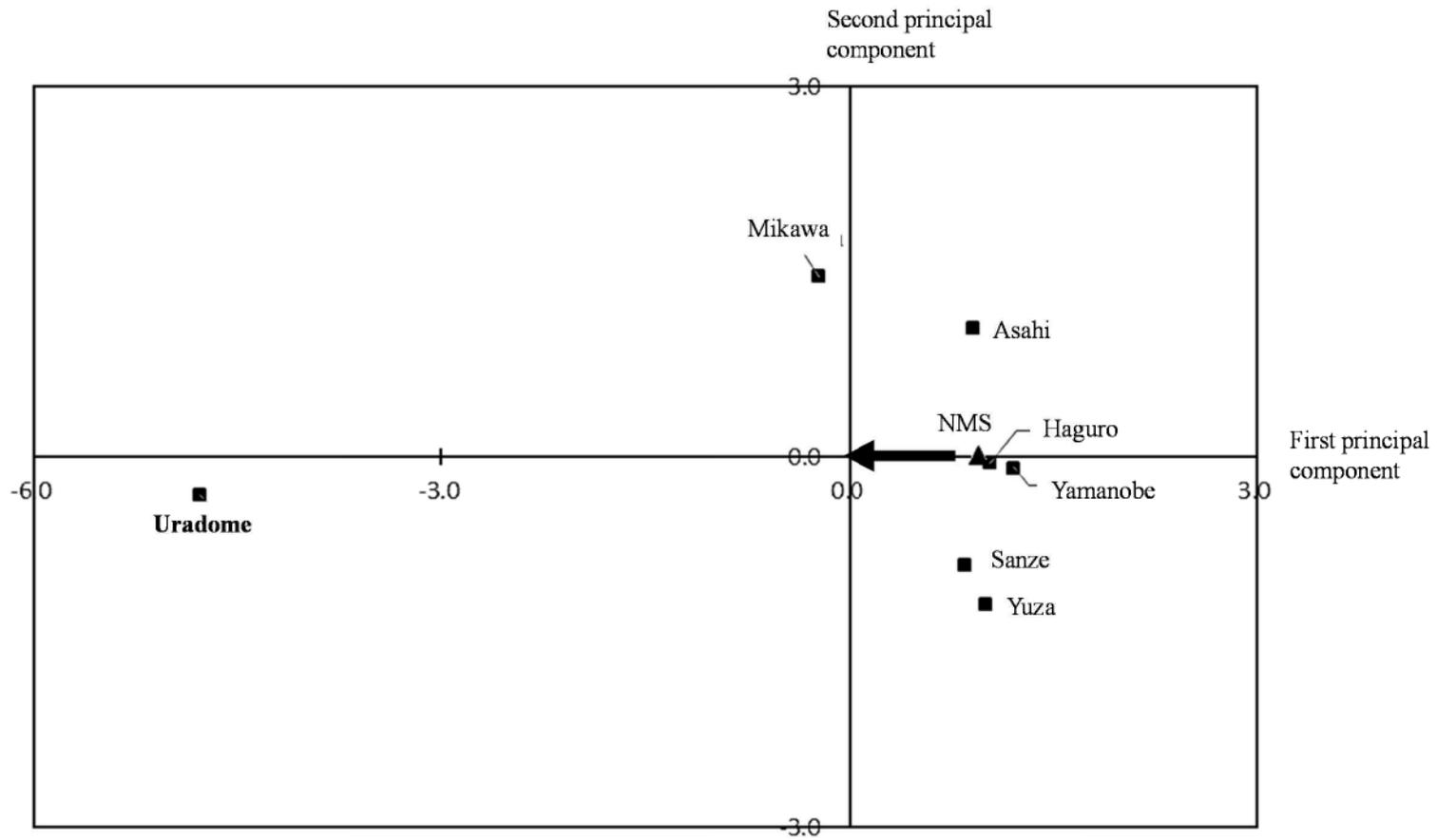
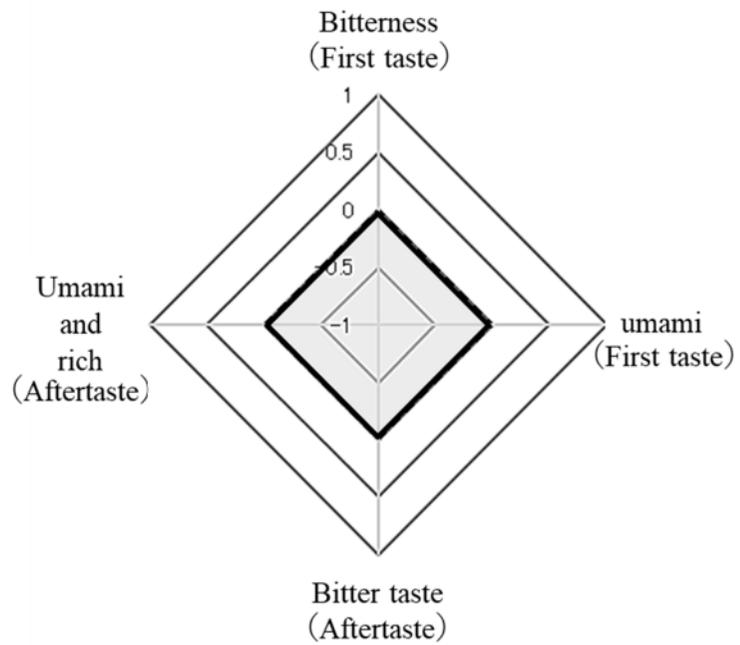


Fig 5.3. Umami taste of bamboo shoots and Uradome tip by α -ASTREE

(a) Bamboo shoot in Yuza



(b) Uradome tips

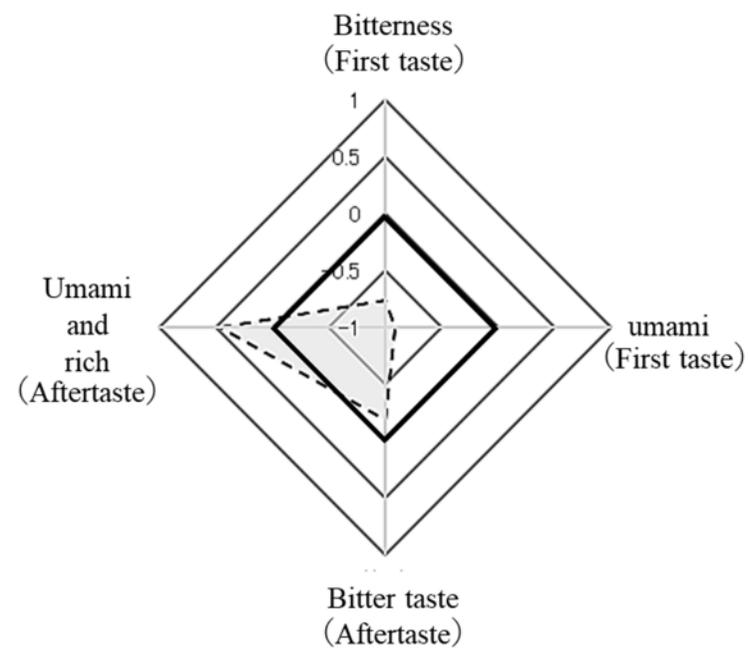


Fig 5.4. Comparison of bitterness and umami between bamboo shoot and Uradome tip by TS-5000Z

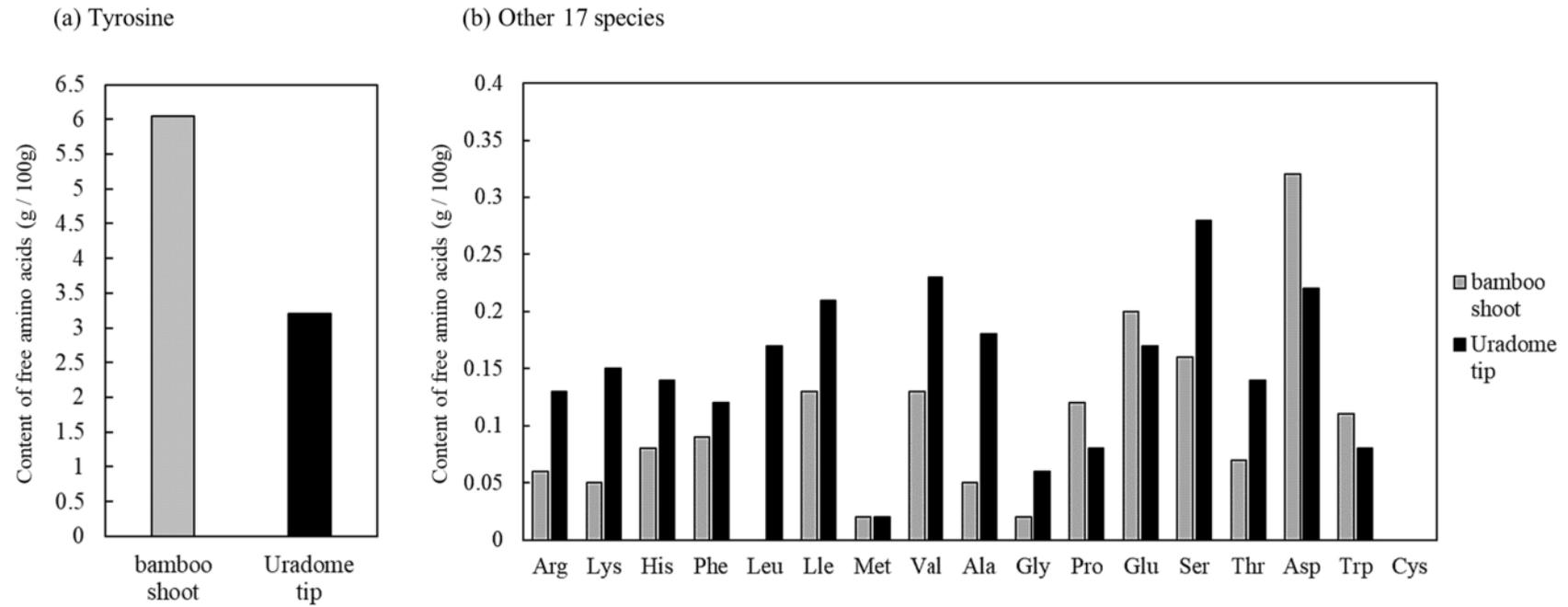


Fig.5.5. Free amino acid content of bamboo shoot and Uradome tip

第6章 総括

モウソウチク (*Phyllostachys pubescens* Mazel ex Houzeau de Lehaie) は、日本には若芽(タケノコ)の食品利用、竹材利用等の目的で300年ほど前に中国から導入され、毎年同時期に一定の収入を得ることが可能な林業経営において貴重な収入源である。日本の広範囲でタケノコ生産が行われているが、関西以南が全国の約9割の生産量を占めるため、日本におけるタケノコ栽培の基本的な管理方法は関西以南の温暖な地域を想定して定められ、マニュアル化されている。一方、東北地方は栽培北限に近いため生産量はわずかだが、モウソウチクのタケノコは農業資源、観光資源として、山間部に住む農林業従事者の貴重な収入源となっている。栽培北限付近におけるタケノコ生産の大きな課題の1つは、翌年以降のタケノコ生産に影響を与える雪害の発生である。過去に、雪害防止方法が複数提案されているものの、その効果や実用性は明確にされていない。本研究では、栽培北限に近い地域における持続的な竹資源生産と活用のため、雪害防止方法を明らかにし、適切な実施と有効性を生産者に示すための基礎的知見を得ることを目的とした。

第2章では、西日本において風害防止やタケノコ発生促進のために行われてきたウラ止めが、栽培北限付近における雪害防止にも寄与する可能性があると考え、ウラ止めの雪害防止効果を調べるとともに、雪害が発生しやすい竹林の地形的特徴を調査した。その結果、林分単位の調査では、ウラ止め実施の度合いが高いほど林分単位の被害率は低くなった。また、稈単位での調査では、ウラ止めを行っていた稈の90%以上が健全であった一方、ウラ止めをしていなかった稈では約30%に雪害が発生しており、ウラ止めの実施と雪害発生率の間には因果関係が確認された。また、それらについて残差分析を行った結果、ウラ止めした稈の雪害未発生数、およびウラ止めしなかった稈の雪害発生数は有意に多く、ウラ止めの実施は雪害を防止することが示唆された。さらに、雪害発生地の地形的特徴を調査では傾斜角度が20度より大きくなると雪害発生数が多くなる

傾向がみられた。一方、竹林の環境要因および管理状況が被害率に与える影響について重回帰分析を行った結果では、斜面方位と稈密度が雪害発生場所の被害率に影響を与えていることが示され、被害発生の有無に影響を与える要因と、被害の程度に影響を与える要因は必ずしも一致しないことが考えられた。

第3章では、栽培者らの経験に基づき決められているウラ止め適期を科学的に検証するため、適期とされている時期にウラ止めを行い、折れた部分の上下の細胞壁の組成分析、およびリグニン構造の分析を行った。また、併せてウラ止めより前の竹成長初期、ウラ止めより後の当年生成竹の細胞壁についても同様の分析を行い、比較を行った。その結果、 α セルロースは成長に伴って増加し（成長初期<ウラ止め時期<当年生）、ウラ止め期におけるセルロース沈着度合いは成長初期の稈と当年生の稈の中間程度であることが示唆された。また、ウラ止め時期の稈では、地際に近い下の節ほどセルロースの堆積が進んでいると考えられた。さらに、ウラ止め時期のリグニンについてみると、成長初期段階で確認されなかった Klason リグニンが、構成比 10%と少ないものの確認されるようになり、リグニンの重合が進んでいると考えられた。しかし、比較として分析した当年生稈の Klason リグニンの構成比が 30%であることから、ウラ止め時期はリグニン沈着の初期段階と考えられ、6月中旬から12月中旬までの6か月の間に更にリグニンの沈着が大きく進むことが示唆された。次に、振り落とし法によるウラ止めで折れた上下の節の主成分構成比を分析した結果、p-hydroxyphenyl (H 型)、guaiacyl (G 型)、syringyl (S 型)由来の熱分解物の検出の有無および構成比は成長が進むにつれて変化し、H 型は減少（成長初期>ウラ止め期>当年生）、G 型は増加（成長初期<ウラ止め<当年生）、S 型は増加後一定（成長初期<ウラ止め期=当年生）となる傾向がみられた。ウラ止めで折れた部分の上下の節の熱分解物については、検出された熱分解物に違いはなく比率もほぼ同じであったことから、リグニンの構造によるウラ止め部位決定への影響は小さいと判断された。このため、ウラ止め部位の決定は、セルロースおよびリグニン

の堆積度合の差が大きく影響していると考えられ、生産者の経験則におけるウラ止め最適時期（竹の幼枝が1～2本発生した時）が、セルロースおよびリグニンの沈着量の変化と一致していると考えられた。

第4章では、生産者が興味を持っている味に着目し、栽培北限に近い山形県産のタケノコ、他地域のタケノコについて化学分析、味覚センサーを用いた定性的な評価を行い、栽培北限に近い地域のタケノコの味の特徴を調査した。エグ味物質の化学分析において、メタノール抽出物のGC-MS分析では、県内産タケノコ、県外産タケノコのいずれについてもホモゲンチジン酸は検出されなかった。Eキットシュウ酸を用いたシュウ酸濃度を測定では、全ての検体からシュウ酸が検出され、濃度の高い方から順に、朝日町（県内産）、遊佐町（県内産）、福岡県（県外産）となった。これらの結果から、エグ味の主要物質とされる2物質のうち、シュウ酸は全てのサンプルから検出され、ホモゲンチジン酸が検出されていないことから、本試験におけるタケノコのエグ味の要因はシュウ酸である可能性が高いと考えられた。味覚センサー α ASTREEによる分析では、県内産のサンプルはシュウ酸味が強く、県外産タケノコは県内産と比べてシュウ酸味が弱いことが示され、化学分析によるシュウ酸濃度測定の結果と同じ傾向を示した。同じく、味覚センサーTS-5000Zを用いた分析結果では、タケノコの苦みは、先味、後味ともに大きい方から朝日町、遊佐町、福岡県の順となり、これらの結果は化学分析や α ASTREEを用いた場合と同様の傾向を示した。以上の結果から、化学分析による定量的な評価のみならず味覚センサーによる定性的な評価も含め、モウソウチクのタケノコは産地によってエグ味に違いがあることが明らかとなった。また、化学分析と味覚分析の結果は同様の傾向を示し、栽培北限に近い山形県産のタケノコは、京都府や福岡県産のタケノコよりもエグ味が強いことが示唆された。

第5章では、現在多くが未利用と考えられるウラ止めの穂先に着目し、食用の可能性を探るため、エグ味と旨味の評価、遊離アミノ酸含有量を調査しタケノコとの比較を行

った。その結果、 α ASTREEによる分析では、ウラ止め穂先のシュウ酸味は山形県産のタケノコと比較し弱いことが示された。また、旨味については山形県内産タケノコよりも強いことが示された。さらに、TS-5000Zを用いて苦味雑味（先味）、一般苦味（後味）、旨味（先味）、旨味コク（後味）について測定した結果では、苦味雑味（先味）、一般苦味（後味）はタケノコ検体よりも弱く、旨味については、口に含んだ瞬間に感じる旨味はタケノコより弱く、飲み込んだ後に残る持続性のある旨味はタケノコより強いことが示された。遊離アミノ酸 18 種の分析結果では、シスチンはいずれの検体でも検出されず、その他 17 種がいずれかの検体で検出された。17 種のアミノ酸のうち、チロシン、プロリン、グルタミン酸、アスパラギン酸、トリプトファンはタケノコの含有量が多く、メチオニンはほぼ同量、その他 11 種はウラ止め穂先の含有量の方が多い結果であった。また、18 種のうち 9 種が、体内で生合成できない必須アミノ酸であり、9 種うちトリプトファン以外の 8 種はウラ止め穂先の含有量が多い、またはタケノコとほぼ同量であることが示された。さらに、筋タンパク質合成強化の生理機能を持つ BCAA（バリン、ロイシン、イソロイシン）の 1 つとして一般的に知られているロイシンは、ウラ止め穂先からのみ検出された。旨味の点から結果をみると、大きく影響すると考えられる遊離アミノ酸であるグルタミン酸の含有量はタケノコの方がウラ止め穂先より多かった。この結果は、TS-5000Z を用いた分析において、ウラ止め穂先の旨味（先味）の値がタケノコより小さいことが示されたでの旨味の分析結果に関連していると推測された。本試験では、タケノコ、ウラ止め穂先ともにチロシンが他の遊離アミノ酸と比較して多く検出された。イネ科植物では L-チロシンを經由してリグニンを生合成する付加的経路が存在し、細胞分裂と伸長によって節間が伸びようとしつつある部分に大量のチロシンがプールされることが報告されており、ウラ止めは、既に竹の伸長とリグニン化が進んだ段階で行われる作業であるため、穂先のチロシン含有量は、伸長やリグニン化が進行しているタケノコよりも少ない可能性が考えられた。

上述した研究結果および考察から、北限地に近い積雪地域でのモウソウチクタケノコ栽培においては、ウラ止めを行うことにより雪害が防止でき、竹林の地形条件や環境要因に関わらず可能な限り多くの林分でウラ止めを行うことが望ましいものの、雪害発生の有無に影響があることが示された急傾斜地においては、特に優先的にウラ止めを実施する必要があると考えられた。また、これまで生産者によって経験的に理解されてきたウラ止め適期の科学的な根拠が明らかとなったことから、この基礎的知見を含めて栽培管理することで、より適切な時期に作業が実施できるものと考えられる。さらに、ウラ止め穂先については、タケノコと比較しエグ味が少なく旨味が強いといった味覚等の点、必須アミノ酸が多く含まれBCAA全ての摂取が可能であるといった点から、食用の可能性が高まったといえる。現在未利用であるウラ止め穂先の利用可能性は、ウラ止めの更なる促進と資源の循環利用に資するものと考えられた。北限地付近のタケノコの味覚的特性についても明らかとなったことから、今後は本試験の結果を広く普及し、栽培北限に近い積雪地域におけるモウソウチクの持続的な栽培と経営に寄与していく。

引用文献

アルファ・モス・ジャパン (2020) 電子味覚システム ASTREE.

<https://www.alpha-mos.co.jp/sensory/am-astree-01.html>.

安食菜穂子 (2013) 味認識装置による漢方処方並びに生薬の品質評価. 特産種苗 16: 77-83.

藤井沙代子, 塩見和世, 古田到真, 永井幸枝, 河合俊和, 平田昭夫 (2019) 味認識装置による黒糖の評価. 日本食品科学工学会誌 66(7): 249-260.

Fujii Y, Azuma J I, Marchessault R H, Morin F G, Aibara S, Okamura K (1993) Chemical composition change of bamboo accompanying its growth. *Holzforchung-International Journal of the Biology, Chemistry, Physics and Technology of Wood* 47(2): 109-115.

藤原孝之, 苔庵泰志 (2010) 漬物の保存に伴う品質劣化の味覚センサーによる評価. 三重県工業研究所研究報告 34: 129-35.

福井裕, 石田丈博, 西村敏英, 松田秀喜 (2006). 本みりんの塩味・酸味抑制効果における官能評価と味覚センサーの分析結果との相関性. 日本調理科学会誌 39(1): 49-56.

Hasegawa C, Sakamoto Y, Ichihara K (1959) On the relationship between homogentisic acid and the egumi-taste of bamboo shoots and hange. *Proc Jpn Acad* 35(5): 246-251.

樋口隆昌 (1990) リグニンの生化学: 生合成と微生物分解. 木材研究・資料 26: 1-37.

池崎秀和 (2013) 味覚センサーによる味の物差し創りと味の見える化. 日本バーチャルリアリティ学会誌 18: 93-97.

Intelligent Sensor Technology Inc (2021) 味覚認識装置 TS-5000Z.

http://www.insent.co.jp/products/TS5000Z_web_J.pdf

Isagi Y, Oda T, Fukushima K, Lian C, Yokogawa M, Kaneko S (2016) Predominance of a single clone of the most widely distributed bamboo species *Phyllostachys edulis* in East Asia. *Journal of Plant Research* 129: 21-27.

- 石井謙二 (1966) 八丁味噌の苦味について. 日本醸造協會雑誌 61(4): 314-317.
- 石坂雅昭 (1995) メッシュ気候値から推定した日本の雪質分布. 雪氷 57(1): 23-34.
- 気象庁 (2018) 過去の気象データ検索.
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>
- 片山功蔵, 林勇二郎 (1971). 真空凍結乾燥に関する研究. 日本機械學會論文集 37(299): 1387-1395.
- 加藤健一, 鈴木良一, 片桐一弘 (2019). 山菜による小さくともキラリと輝く山村産業創出技術の実証. 長野県林業総合センター研究報告 33: 35-47.
- 木村進 (1963) 食品の凍結乾燥. 真空 6(12): 470-485.
- 桐生智明, 松田尚子, 神代圭輔, 古田裕三 (2017) 成長に伴うモウソウチク (*Phyllostachys pubescens*) の物性発現機構 (第2報). 木材学会誌 63(1): 14-20.
- 小机ゑつ子 (1976) タケノコの生理化学的研究 (第1報): タケノコの基底, 中央, 先端部における有機酸含量の変動. Beacon 12: 23-26.
- 小机ゑつ子, 土田広信, 水野進 (1988). セファデックス G-10 カラムクロマトグラフィー及び高速液体クロマトグラフィーによるタケノコのコモゲンチジン酸の測定法. 園芸学会雑誌 57(3): 549-554.
- 小机ゑつ子, 水野進 (1989) タケノコのコモゲンチジン酸含量に及ぼす収穫時期, 重量, 栽培地ならびに貯蔵の影響. 園芸学会雑誌 58(3): 719-722.
- 口羽章子, 坂本裕子 (1990) たけのこ料理と京都. 調理科学 23(3): 263-266.
- 日下部裕子 (2013) うま味. 日本食品科学工学会誌 60(8): 456-456.
- Lin J, He X, Hu Y, Kuang T, Ceulemans R (2002) Lignification and lignin heterogeneity for various age classes of bamboo (*Phyllostachys pubescens*) stems. Physiologia Plantarum 114(2): 296-302.
- 増野和彦, 城石雅弘, 中村美晴, 古川仁 (2020) 「美味しさ」に着目したきのこと栽培技

- 術の開発-ナメコの味の数値化. 長野県林業総合センター研究報告 34: 81-94.
- 農林水産省 (2020) 特用林産物生産統計調査.
https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tokuyo_rinsan/
- 宮野博 (2020) アミノ酸メタボロミクスの開発と応用. 分析化学 69: 329-339.
- 森川東太, 中村人史, 上野満 (2015) 山形県鶴岡市のモウソウチク林における雪害の特徴とウラ止めによる防止効果. 山形県森林研究研修センター研究報告 32: 44-48.
- 日本食品分析センター (2019) JFRL ニュース Vol.6 No.26
https://www.jfirl.or.jp/storage/file/news_vol6_no26.pdf
- 野村隆哉 (1980) 竹の生長について. 木材研究・資料 15: 6-33.
- 野中重之 (2010) タケノコ 栽培・加工から竹材活用まで. 社団法人農山漁村文化協会.
pp159.
- Ralph J, Hatfield R D (1991) Pyrolysis-GC-MS characterization of forage materials. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 39(8): 1426-1437.
- 柴田昌三 (2003) モウソウチクと日本人. *日本緑化工学会誌* 28(3): 406-411.
- Sungkaew S, Stapleton C M, Salamin N, Hodkinson T R (2009) Non-monophyly of the woody bamboos (Bambuseae; Poaceae): a multi-gene region phylogenetic analysis of Bambusoideae ss. *Journal of Plant Research* 122(1): 95.
- 高木彰紀, 久保理絵, 地引綾, 青森達, 鈴木小夜, 中村智徳 (2017). 電子味覚システムとヒト官能試験によるクリンダマイシンの苦味抑制飲食物の探索. *医療薬学* 43(9): 492-501.
- 高橋克嘉, 篠倉恭江, 山田和史 (2017) 味覚センサーによる柚子こしょうの分類および保存による風味変化. 宮崎県工業技術センター・宮崎県食品開発センター研究報告 60: 37-41.
- Thammawong M, Nei D, Roy P, Nakamura N, Shiina T, Inoue Y, Hamachi H, Nonaka S (2009)

- Characteristics of Sugar Content in Different Sections and Harvest Maturity of Bamboo Shoots.
HortScience 44(7): 1941-1946.
- Toba K, Nakai T, Shirai T, Yamamoto H (2015) Changes in the cellulose crystallinity of moso bamboo cell walls during the growth process by X-ray diffraction techniques. *Journal of Wood Science* 61(5): 517-524.
- 飛松裕基 (2017) 植物と人を支える細胞壁の科学. *生存圏研究* 13: 10-18.
- 戸井田仁一 (2012) 味覚センサーを用いたみそ, しょうゆの評価. *日本醸造協会誌* 107(7): 485-490.
- 豊田健太郎, 池崎秀和, 平林和之, 三村昭彦, 那須賢二, 戸塚昭 (2016) 味覚センサーを用いた清酒の後味評価. *日本醸造協会誌* 111(1): 49-58.
- Tsuyama T, Shimada N, Motoda T, Matsushita Y, Kijidani Y, Fukushima K, Kamei I (2017) Lignification in developing culms of bamboo *Sinobambusa tootsik*. *Journal of Wood Science* 63(6): 551-559.
- 上田弘一郎 (1963) 有用竹と筍: 栽培の新技术. 株式会社博友社. pp314.
- Wang X, Ren H, Zhang B, Fei B, Burgert I (2012) Cell wall structure and formation of maturing fibres of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) increase buckling resistance. *Journal of the Royal Society Interface* 9: 988-996.
- 山形県 (2017) 孟宗竹栽培管理マニュアル (山形県版). 山形県森林研究研修センター. pp31.
- 山口明子, 西麗, 廣瀬潤子, 浦部貴美子, 灘本知憲. (2012) 乾燥技術の違いによる食品中の有用成分の変化. *日本食品保蔵科学会誌* 38(3): 169-176.
- Zhou B, Fu M, Xie J, Yang X, Li Z (2005) Ecological functions of bamboo forest: Reserch and application. *J Forestry Res* 16(2): 143-147.
- Zhou B, Li Z, Wang X, Cao Y, An Y, Deng Z, Letu G, Gang W G, Gu L (2011) Impact of the 2008

ice storm on moso bamboo plantations in southeast China. J Geophys Res 116(G3), G00H06,

DOI:10.1029/2009JG001234

Zhu Y, Huang J, Wang K, Wang B, Sun S, Lin X, Song L, Wu A, Li H (2020) Characterization of

lignin structures in *Phyllostachys edulis* (Moso bamboo) at different ages. Polymers 12(1): 187.

謝辞

本研究を遂行するにあたって、御指導、御高配を受け賜りました山形大学農学部エコサイエンスコースの芦谷竜矢 教授、吉村謙一 准教授、高橋孝悦 前教授、岩手大学農学部森林科学科の小藤田久義 教授に心より感謝し、御礼申し上げます。

また、山形県森林研究研修センターの高内将文氏には、試料を採取するにあたりお力添えを頂き御礼申し上げます。山形県森林研究研修センターの中村研究開発専門員には、研究を遂行するにあたりご助言を頂き、御礼申し上げます。

最後に、本研究の遂行、論文執筆にあたり、多大なるご協力を頂きました、山形大学農学部エコサイエンスコース森林資源利用学研究室の皆様、並びに山形県森林研究研修センターの皆様心より感謝申し上げます。

Summary

Among the bamboo species cultivated in Japan, *Phyllostachys pubescens* Mazel ex Houzeau de Lehaie is one of the most unique forest products; it is used as bamboo lumber, and the young shoots (bamboo shoots) are consumed as food. About 90% of Japan's bamboo shoots are produced in western and southwestern Japan, with only small amounts being produced in the Tohoku region, which is located near the northern limit of the cultivation area. However, bamboo shoots are a valuable resource for agricultural and forestry workers living in mountainous regions. A major issue in their cultivation in snow-covered areas, including in Yamagata Prefecture, is the occurrence of snow damage, which affects the production in the subsequent years. This study was conducted to investigate sustainable production and utilization of bamboo resources in an area located near the cultivations' northern limit. The objectives were to identify methods for snow damage prevention and to demonstrate their proper implementation and effectiveness to growers. In addition, this study aimed to evaluate the taste characteristics of bamboo shoots near the cultivations' northern limit and determine if they have a higher added value for commercialization purposes.

We hypothesized that Uradome treatment, which has been used to prevent wind damage and promote bamboo shoot development, also contributes to snow damage prevention. In this study, the effect of Uradome on snow damage prevention and the topographical characteristics of bamboo forests prone to such damage were investigated by evaluating the use or nonuse of the treatment and the occurrence of snow damage at the forest and culm units. The results showed that Uradome prevented snow damage. The relationship between snow damage occurrence and topographical features showed that the slope angle affected the presence of the former, whereas slope direction and culm

density affected its level.

In the shake-off method, which is common in Uradome treatments, the time required is short, and the appropriate time is determined based on the experience of growers. To scientifically determine the appropriate time for the implementation of Uradome, cell wall composition and lignin structure analyses were performed on the upper and lower nodes of the parts broken during the treatment. The results suggest that cellulose deposition in culms during the Uradome period was more advanced in the lower nodes near the ground surface and that this was the initial stage of lignin deposition, which progressed significantly after that. In the structural analysis of lignin, pyrolysates derived from p-hydroxyphenyl, guaiacyl, and syringyl were detected, but there were no significant differences in the type and ratio of these compounds. Therefore, it was the differences in the deposition of cellulose and lignin, and not lignin structure, that influenced the determination of Uradome sites; the optimal timing of Uradome, according to the empirical rule of producers, was considered to be consistent with changes in deposition.

This study also focused on the taste of bamboo shoots to determine if they had a higher value for commercialization purposes. Using bamboo shoots grown in Yamagata Prefecture and in other regions, a chemical analysis and a qualitative evaluation were conducted using taste sensors. The taste characteristics of bamboo shoots from regions located near the cultivations' northern limit were identified. The results showed that the egumi taste of the shoots was highly likely to be due to the oxalic acid content. The analysis used two types of taste sensors, and it revealed that the egumi taste of bamboo shoots differed depending on the place of origin, suggesting that the shoots from Yamagata Prefecture, near the cultivations' northern limit, had a stronger egumi taste than those from Kyoto and Fukuoka Prefectures.

To explore the edibility potential of Uradome tips, their egumi and umami tastes and free amino acid contents were examined and compared with those of bamboo shoots. The two-taste sensor analysis showed that the taste of Uradome tips was less egumi and more umami compared to that of bamboo shoots. The analysis of 18 free amino acids showed that 11 of them were more abundant in Uradome tips. It was also shown that 9 out of 18 were essential amino acids, and higher amounts (or almost the same amounts) of 8 of them were contained in Uradome tips compared with bamboo shoots. In addition, leucine, which is commonly known as one of the BCAAs, was detected only in Uradome tips.

In general discussion, it is recommended to conduct Uradome treatments in as many bamboo forests as possible in the areas near the cultivations' northern limit because they can prevent snow damage. In particular, we suggest conducting the treatments on steep slopes affected by snow damage. In addition, this study provides basic information in relation to the optimum season for Uradome treatments and to the taste and composition of bamboo shoots and Uradome tips. This knowledge will allow the promotion of a sustainable production and utilization of bamboo resources in areas located near the cultivations' northern limit.