雲仙普賢岳火山灰の土壌への堆積がキュウリの成長および根圏ガス環境に与える影響

平野高司・関 和雄・清田 信・相賀一郎

(大阪府立大学農学部)

Effects of Soil Cover with Volcanic Ash from Mt. Unzen-Fugendake on the Growth of Cucumber and Gaseous Environment in the Rhizosphere

Takashi HIRANO, Kazuo SEKI, Makoto KIYOTA and Ichiro AIGA

(College of Agriculture, University of Osaka Prefecture)
Gakuen-cho 1-1, Sakai, 593 Japan

Abstract

Cucumber plants were grown in the pots containing the soil covered with volcanic ash from Mt. Unzen-Fugendake, and the concentration of CO_2 and O_2 in the soil was measured during the cucumber growth. Diffusion of O_2 was also measured in the volcanic ashes from Mt. Unzen-Fugendake and Mt. Sakurajima, and in the soil. The O_2 diffusion coefficients were much smaller in the volcanic ashes than in the soil. In the rhizosphere, the concentration of CO_2 increased and that of O_2 decreased under the soil cover with the volcanic ash. This was attributed to the slower exchanges of CO_2 and O_2 between the atmosphere and the soil through the volcanic ash layer. The cucumber growth in the pots with the soil cover was slower than in the control pots. The increased CO_2 concentration in the rhizosphere may be the cause of the growth reduction.

Key words: Cucumber, Gaseous diffusion coefficient, Rhizosphere, Volcanic ash.

キーワード: 火山灰, ガス拡散係数, キュウリ, 根圏

1. はじめに

雲仙普賢岳(以下、雲仙岳)は、1990年以降断続的に噴火を繰り返し、島原市などの周辺市町に大きな被害をもたらしている。特に、火砕流による人的被害や、土石流による農地や家屋などの埋没、流亡といった損害は甚大で深刻である。一方、このような激しい被害以外にも、火山灰の堆積によって生じる農作物の被害がある。著者らは、作物の葉面に堆積した火山灰が物理的作用により光合成を低下させ、慢性的な成育不良の原因となることを報告した(平野ら、1992)。また、土壌表面に堆積した火山灰は土壌と大気間のガス交換を妨げ、作物の根圏ガス環境を悪化させる(O_2 濃度の低下、 CO_2 濃度の上昇)と考えられる。根圏ガス環境の悪化は作物の光合成

を阻害し成長を抑制するであろう(矢吹、1985)。

本研究では、雲仙岳の火山灰の物理的特性を調べるとともに、土壌表面に堆積した雲仙岳火山灰が土壌中空気中の CO_2 、 O_2 濃度およびキュウリの成長に与える影響について検討した。

2. 方法

実験には、1991年6月に島原市内で採取された雲仙岳の火山灰(雲仙岳E)を用いた。

2.1 物理的特性

栽培実験に用いた火山灰と供試土壌の粒径分布およびガス(O_2)拡散係数を測定した。比較のために、1991年5月に国見町で採取された雲仙岳の火山灰(雲仙岳A)、1990年5月と6月に鹿児島市で採取された桜島の火山灰(白灰、黒灰)(平野ら、1992)のガス拡散係数も測定した。

粒径分布は、比重試験(JIS A 1204)およびふるい分け方と沈降法による粒度試験(JIS A 1202)により求めた。一方、ガス拡散係数は北宅・矢吹(1984)の方法により求めた。つまり、試料が充填された円筒上部空間の O_2 濃度の時間変化を酸素分析計(日本電池, KE-50)を用いて測定し、ガス拡散係数を算定した。

2.2 根圏ガス環境とキュウリの成長に与える影響

大阪府立大学農学部環境制御型温室(気温: $25 \pm 3^\circ C$)でキュウリ(*Cucumis sativus* L., 品種名: 山東四葉2号)の栽培実験を2度行った。実験には、大阪府立大学農学部の実験圃場から採取した表土に配合肥料(N:P:K=5:5:5)を $1m^2$ 当たり500gの割合で加えて良く攪拌し、5mmのふるいを通したものをを用いた。

(1) 実験 I

実験は1991年11月に行った。深さ5, 10, 15, 20, 30cmの位置にガスサンプラーを取付けた塩化ビニル製の栽培用ポット(内径20cm, 深さ45cm)(Fig.1)16個に供試土壌を充填し、キュウリを1ポットあたり4粒ずつ播種した。土壌中での湛水を防ぐため、ポットの底に水を貯める空間を設けた。また、日射による地温の上昇を防ぐためポットの周囲をアルミホイルで覆った。ガスサンプラーと同じ深さに熱電対を埋設し、地温を連続測定した。本葉が出る直前(播種後9日目)に間引きを行い、成長が同じ程度のものを各ポットに1個体ずつ残した。間引き後、8個のポットの土壌表面に火山灰を1cmずつ堆積させた(処理区)。火山灰の厚さは、島原市内の圃場の状況(1991年6月現在)をもとに決定した。処理後24日間、火山灰あるいは土壌の上からじょうろを用いて1日おきに水道水を1ポット当たり $300cm^3$ (約10mm

Fig. 1. Schematic diagram of plant culture pot for Experiment 1.

の降雨に相当) ずつ与え、栽培実験を行った。なお、火山灰の厚さが不均一にならないように注意して灌水を行った。栽培実験終了時に、葉数、葉面積、葉および地上部全体の乾重を常法にしたがって測定した。土壌中空気については、処理直前、処理後5, 11, 17, 23日目(灌水を行わない日)の午前中に、注射器を用いてガスサンプラーより $1cm^3$ ずつ採取し、ガスクロマトグラフ(日立製作所, 663型)により CO_2 濃度を測定した。

(2) 実験 2

火山灰の堆積量を変えて、実験1と同様の実験を1992年10月に行った。木製の板の内側にビニルフィルムを張った栽培装置(縦60cm, 横90cm, 深さ60cm)3基に供試土壌を充填し、播種後9日目のキュウリを6個体ずつ移植した。栽培密度は実験1の約1/3であった。各植物個体の中間4箇所にガスサンプラー(深さ5, 10, 15, 25cm)を取付けた。栽培装置のその他の仕様は実験1と同様であった。移植後、栽培装置2基の土壌表面にそれぞれ火山灰を1cm(1cm区)および3cm(3cm区)堆積させた。処理後33日間、火山灰あるいは土壌の上からじょうろを用いて1日おきに水道水を $5400cm^3$ (10mm降雨相当) ずつ与え、栽培実験を行った。なお、処理後26日目以降は、植物体がかかなり大きくなったため灌水を毎日行った。土壌中空气の採取・分析および成長量の測定などの方法は実験1と同じであるが、本実験では土壌中空气の O_2 濃度および果実数、果実乾重についても測定した。

3. 結果と考察

3.1 火山灰の粒径分布とガス拡散係数

栽培実験に用いた火山灰(雲仙岳E)と供試土壌の粒径加積曲線をFig.2に示す。供試土壌の粒径がほぼ均等に分布しているのに対し、雲仙岳Eの粒径分布は0.01~0.1mmの範囲にその62%が集中しており(供試土壌では16%), 雲仙岳Aとはほぼ等しかった(平野ら, 1992)。な

Fig. 2. Particle size accumulation curves of the volcanic ash and soil used in Experiment 1 and 2.

お、供試土壌の土性は細植壤土(日本農学会)あるいは砂質植壤土(国際土壌学会)に分類される。

Fig. 3 に雲仙岳 E と供試土壌の含水比とガス (O_2) 拡散係数との関係を示す。なお、 CO_2 拡散係数は、静気中の CO_2 と O_2 の拡散係数の比 (0.775) を測定値に乘ずることにより求めることができる(矢吹・北宅, 1984)。雲仙岳 E, 供試土壌ともに含水比が高くなり気相率が低くなるにしたがいガス拡散係数は小さくなった。雲仙岳 E では、含水比の 1~30 % への変化にともない、ガス拡散係数は $9.5 \times 10^{-3} \sim 7.8 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ へと 1/1000 以下に低下した。特に、含水比が 10 % 程度までの低下率が大きかった。一方、供試土壌では、含水比の 11~41 % への変化にともない、ガス拡散係数は $10.0 \times 10^{-3} \sim 0.2 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ へとほぼ直線的に低下した。このように、雲仙岳 E のガス拡散係数は供試土壌に比べてかなり小さく、含水比 11 % では供試土壌の約 1/4, 20 % では約 1/15, 30 % では約 1/300 であった。この差は間隙率の違いによる。間隙率は、雲仙岳 E で 43.7 %, 供試土壌で 54.8 % であり、前者は後者の 80 % であった。なお、含水率 11, 20, 30 % における気相率は、雲仙岳 E では 27, 15, 0.3 %, 供試土壌では 44, 36, 27 % であった。

異なる火山灰についてガス拡散係数を比較すると (Fig. 4), 粒径分布がほぼ等しい雲仙岳 E と雲仙岳 A で、それらはほぼ等しかった。桜島白灰と黒灰では、粒径分布がかなり異なる(平野ら, 1992)にもかかわらず、間隙率の差は小さく、ガス拡散係数は似通った値となった。なお、間隙率の小さい桜島白灰(間隙率: 39.1 %)と黒灰(40.6 %)では、雲仙岳 E (43.7 %)と A (44.8 %)に比べガス拡散係数が小さかった。

このように、火山灰は供試土壌に比べて間隙率が低いいためガス拡散係数が小さく、通気性が悪いことがわかった。これは、供試土壌が団粒をかなり含んでいたのに対し、火山灰が単粒構造であったことに起因している。一般に、団粒の形成は間隙の増加に寄与するといわれている(例えば川口, 1988)。

3.2 根圏ガス環境に与える影響

土壌中空気中の CO_2 , O_2 濃度の鉛直分布の変化を Fig. 5, 6 に示す。なお、ガスサンプラーが破損したため、実験 1 (Fig. 5) の深さ 10 cm での結果は得られなかった。

実験 1 では、処理区の CO_2 濃度は時間の経過とともに高くなり、処理前の 0.2~0.3 % が処理後 23 日目には 1.4~1.7 % に上昇した。ま

Fig. 3. Relation between O_2 diffusion coefficient and water content of the volcanic ash and soil used in Experiment 1 and 2.

Fig. 4. Comparison of O_2 diffusion coefficient among 4 volcanic ashes.

た、処理前には供試土壌の下層の方が濃度が高かったが、23 日目には逆に上層の方が高濃度となった。それに対して、対照区においては深さ 15 cm 以下で濃度が高くなる傾向を示したが、5 cm における変化はわずかであった。なお、23 日目における処理区の濃度は、深さ 5, 15, 20, 30 cm で、それぞれ対照区の 6.2, 3.1, 1.9, 2.5 倍となった。

次に実験 2 の結果についてみる。 CO_2 濃度 (Fig. 6 a) は、両処理区ともに処理後 5 日目、11 日目と時間の経過

Fig. 5. Change of CO_2 concentration profiles in the soils (a) treated with volcanic ash cover of 1 cm thickness and (b) not treated during Experiment 1. Each value is the mean of 8 samples.

とともに高くなったが、その後低下し、23日目には処理前と同程度(3 cm区)か低くなった(1 cm区)。11日目の濃度は、1 cm区、3 cm区でそれぞれ1.5~2.0、2.4~3.3%であった。一方、対照区では5日目に最も濃度が高くなり、その後低下した。なお、3区ともほぼ下層の方が高濃度となったが、3 cm区では深さ15 cmにおいてやや低濃度となる傾向がみられた。各処理区のCO₂濃度を比較すると、5, 11, 17日目では3 cm区>1 cm区>対照区となったが、特に差が大きかったのは11日目で、3 cm区と1 cm区の濃度は対照区のそれぞれ3.3~5.4、2.2~3.1倍となった。O₂濃度の変化(Fig. 6b)はCO₂濃度の変化にはほぼ対応し、CO₂濃度が上昇する場合に低下し、低下する場合に上昇した。したがって、処理後5, 11, 17日目での濃

は対照区>1 cm区>3 cm区となった。濃度が最低となったのは3 cm区の11日目で、16.3~16.8%であった。

以上より、土壌表面に火山灰が堆積することにより土壌中空气のCO₂濃度が上昇し、O₂濃度が低下することがわかった。また、この傾向は火山灰の堆積量が多いほど顕著であった。このような根圏ガス環境の悪化は、火山灰のガス拡散係数が供試土壌に比べて小さかったことが原因である。土壌表面への火山灰の堆積は、土壌呼吸により消費されるO₂の大气からの補給、および発生するCO₂の大气への放出を抑制する。なお、実験2では処理後17日目に降根圏ガス環境が改善されたが、これは供試土壌の乾燥化にともなうガス拡散係数の増大により、土壌と大气とのガス交換が促進されたためと考えられる。実験1に比べ、実験2では日射量が多かったため、キュウリの成長はかなり良好であった。そのため、供試土壌からの蒸発量およびキュウリの蒸散量が増加し、供試土壌の乾燥化が進んだ。実験2終了時(34日目)の表層部(厚さ1 cm)の含水比は、1 cm区と3 cm区の火山灰で2.1, 3.1%, 対照区の供試土壌で8.9%であり、処理区、対照区とも表層部のガス拡散係数は大きく、それらの差は小さかった(Fig. 3)。一方、実験1では終了時(25日目)の表層部の含水比は、処理区の火山灰で14.5%, 対照区の供試土壌で19.3%であり、火山灰のガス拡散係数は供試土壌の14%であった(Fig. 3)。

Fig. 6. Change of CO₂ and O₂ concentration profiles in the soils treated with volcanic ash cover of (a) 1 cm and (b) 3 cm thickness, and (c) not treated during Experiment 2. Each value is the mean of 6 samples.

3.3 キュウリの成長に与える影響

Table 1 に栽培実験の結果を示す。実験1では、有意差がみられたのは葉数のみであった(有意水準5%)が、処理区において葉数、葉面積、葉乾重、地上部乾重とも減少した。実験2においても、有意差はないものの、葉面積を除いた葉数、葉乾重、地上部乾重、果実数、果実乾重で処理区の方が対照区よりも小さく、対照区>1 cm区>3 cm区となった。なお、実験2終了時の果実の長さは全て10 cm以下であった。地下部については、根の回収が困難であったため定量的な測定は行わなかったが、処理区では土壌の上層部における根量の増加が認められた。また、火山灰の中にも根が観察された。

土壌表面への火山灰の堆積によりキュウリの成長が抑制されること、その影響は堆積量が多いほど大きいことがわかった。北宅ら(1984)は、土壌空气中のCO₂濃度が0.5~2%でもキュウリの成育が抑制されると報告した。また、Kramer(1983)は土壌空气中にO₂が10%以上あれば植物の成長にとって十分であると述べている。したがって、火山灰処理区におけるキュウリの成長の悪化は、土壌空气中のCO₂濃度の上昇が主な原因であったと考えられる。なお、地温の連続測定も行ったが、処理区と対照区ではほぼ等しかった。

Table 1 Effect of the cover of volcanic ash for the soil surface on growth of cucumber.

	Number of leaves (plant ⁻¹)	Leaf area (m ² plant ⁻¹)	Leaf dry weight (g plant ⁻¹)	Shoot dry weight (g plant ⁻¹)	Number of fruits (plant ⁻¹)	Fruit dry weight (g plant ⁻¹)
Experiment 1 ^a						
Treatment (1cm)	16.5±1.6 (87)	0.216±0.018 (97)	4.6±0.4 (94)	6.7±0.6 (96)		
Control	18.9±2.2 (100)	0.223±0.020 (100)	4.9±0.5 (100)	7.0±0.7 (100)		
Experiment 2 ^b						
Treatment 1 (1cm)	53.5±12.6 (97)	1.116±0.260 (108)	23.8±6.3 (99)	40.7±11.1 (100)	11.5±3.2 (97)	0.89±0.26 (85)
Treatment 2 (3cm)	46.2±9.5 (84)	0.945±0.168 (91)	21.7±4.3 (90)	37.4±8.1 (92)	9.3±2.1 (79)	1.00±0.34 (95)
Control	55.0±11.9 (100)	1.038±0.236 (100)	24.0±6.1 (100)	40.8±10.7 (100)	11.8±3.0 (100)	1.05±0.25 (100)

^a Means ± SD (n=8). Measurements were made on the 25th day from the treatment.^b Means ± SD (n=6). Measurements were made on the 34th day from the treatments.

4. おわりに

土壌表面に火山灰が堆積すると、土壌と大気との間のガス交換が阻害され、土壌空気中のCO₂濃度が上昇し、O₂濃度が低下し、キュウリの成長抑制が生じる可能性のあることがわかった。キュウリの成長の悪化はCO₂濃度の上昇が主な原因であると考えられる。なお、ガス拡散係数は含水比によって大きく異なるため、火山灰が成長に与える影響も土壌の水分状態によって異なる。湿潤状態が続くような場合には成長に対して悪影響が出やすいと考えられる。一方、晴天で表層部が容易に乾燥するような状況では悪影響は小さいであろう。発生源や採取場所などの異なる火山灰についても、ガス拡散係数が土壌に比べてかなり小さいという結果が得られたことから、このような根圏ガス環境の悪化は、火山灰が土壌表面に堆積した場合の一般的な傾向であると考えられる。

謝 辞

雲仙岳の火山灰を提供していただいた長崎県島原農業改良普及所の内海稔所長、中山忠治専門幹、島原市農業協同組合の松尾祐次氏、ならびに現地状況などに関して有益なコメントをいただいた大阪府立大学農学部の中

瀬憲次教授に厚く御礼申し上げます。また、桜島の火山灰を提供していただいた九州大学農学部の鈴木義則教授に深く御礼申し上げます。さらに、粒度試験に対してご指導いただいた大阪府立大学農学部の矢部勝彦助教授、谷川寅彦助手に感謝致します。

引用文献

- 平野高司・清田 信・関 和雄・相賀一郎, 1992: 雲仙普賢岳と桜島の火山灰の付着がキュウリの葉温と気孔コンダクタンスに与える影響. 農業気象, **48**, 139-145.
- 川口桂三郎, 1988: 土壌学概論 (第12版). 養賢堂, 東京, 134-135.
- 北宅善昭・矢吹万寿・清田 信, 1984: 根圏ガス環境の制御に関する研究(2) キュウリの生育に対する根圏空気中のCO₂の影響. 農業気象, **40**, 119-124.
- Kramer, 1983: *Water Relations of Plants*. ACADEMIC PRESS (田崎忠良監修, 1986: 水環境と植物. 養賢堂, 東京, 174-175).
- 矢吹万寿・北宅善昭, 1984: 根圏ガス環境の制御に関する研究(1) 灌水後の土壌中CO₂濃度とガス拡散係数の変化. 農業気象, **40**, 1-7.
- 矢吹萬壽, 1985: 植物の動的環境. 朝倉書店, 東京, 79-80.