



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	C02濃度の上昇がトールフェスクの地上部形質、乾物生産および乾物分配に及ぼす影響
Author(s)	小林, 創平; KOBAYASHI, Sohei; 由田, 宏一 他
Citation	北海道大学農学部農場研究報告, 31, 61-66
Issue Date	1999-03-29
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/13443">https://hdl.handle.net/2115/13443</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	31_p61-66.pdf



## CO<sub>2</sub>濃度の上昇がトールフェスクの地上部形質、 乾物生産および乾物分配に及ぼす影響

小林 創平<sup>1)</sup>・由田 宏<sup>1,2)</sup>・中嶋 博<sup>1,2)</sup>

<sup>1)</sup>北海道大学大学院農学研究科 北方資源生態学講座)

<sup>2)</sup>北海道大学農学部附属農場 植物資源開発部門)

(1999年2月12日受理)

### 緒 言

大気中のCO<sub>2</sub>濃度は年々上昇しており、21世紀中に現在の約350 ppmから約2倍の700 ppmにまで達する(CO<sub>2</sub>富化)と予想されている<sup>1,2)</sup>。通常、植物の光合成量や乾物生産はCO<sub>2</sub>濃度の上昇にともない増加する<sup>2-5)</sup>。そのため、CO<sub>2</sub>富化は食料生産を増大させると考えられている。牧草地は世界の耕地面積の約70%を占め、北海道においても主要な耕地利用形態である<sup>6)</sup>。これらのことから、牧草に対するCO<sub>2</sub>富化の影響を把握し、高CO<sub>2</sub>環境下で草地の生産性を高める方法を模索することは重要と言えよう<sup>2)</sup>。

植物は地球温暖化の原因となるCO<sub>2</sub>を吸収して、それを土壤中に固定する機能をもつ。特に牧草地の地下部は膨大な炭素貯蔵能を有しているため、CO<sub>2</sub>を吸収、貯蔵する場所として有望視されている<sup>7,8)</sup>。すなわち、高CO<sub>2</sub>環境下における牧草の乾物分配特性を調査することは、飼料生産のみならず、地球環境保護の観点からも意義深い<sup>9,10)</sup>。

今までCO<sub>2</sub>富化に対する植物の反応が調べられてきたが、その結果は一定しておらず、統一した見解が得られていない<sup>1,5,9,16)</sup>。本研究では、高CO<sub>2</sub>環境下におけるトールフェスクの地上部形質、乾物生産および地上部と地下部への乾物分配を調査すると共に、CO<sub>2</sub>富化の影響が不安定である原因を探った。

### 材料および方法

本実験は、CO<sub>2</sub>濃度を2水準(高CO<sub>2</sub>濃度700 ppmと外気CO<sub>2</sub>濃度)とし2反復で行った。1998

年5月15日にトールフェスク(*Festuca arundinacea* cv. Nanryo)の種子を0.75 m×0.5 mの試験区に約12,000粒/m<sup>2</sup>の割合で均一に播種し、発芽ののち間引いて、栽植密度約400個体/m<sup>2</sup>の単一草地を作成した。また基肥として、N・P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>・K<sub>2</sub>O・MgOを6・2・6・1.2 kg/10 aの割合で施した。高CO<sub>2</sub>環境と外気CO<sub>2</sub>環境は、オープントップチャンバー(2 m×1.5 m×高さ1.0 m)とCO<sub>2</sub>コントローラ(小糸製作所製)を用いて、播種当初から連続して作出した<sup>11)</sup>。実験期間中の高CO<sub>2</sub>濃度は平均694 ppmで、外気CO<sub>2</sub>濃度は平均330 ppmであった。なお、殺虫・殺菌剤を適時・適量散布した。

播種ののち、6月21日、7月1日、7月10日、7月17日、7月24日に地上部を10 cm×10 cmの面積で採取し、分けつ数と葉面積を調査後、凍結乾燥して葉部と茎部(葉鞘と茎)の乾物重を求めた。さらに根部を5 cm×5 cmの面積で地下20 cmまで10 cmごとに分けて採取し、通風乾燥して乾物重を測定した。

### 結 果

地上部形質(分けつ数、LAI、葉部重)と全乾物重との関係はCO<sub>2</sub>富化によって変化しなかった(図1)。乾物分配(地上部重と根部重との関係)も、変化しなかった(図2)。さらに、根系(地表~地下10 cmおよび地下10~20 cmの根重と全根重との関係)も変化しなかった(図2)。

CO<sub>2</sub>富化により全乾物重は7月24日を除き増加した(図3)。乾物重の増加は、生育中期(7月10日)で最も大きく、生育初期と生育後期で小さ

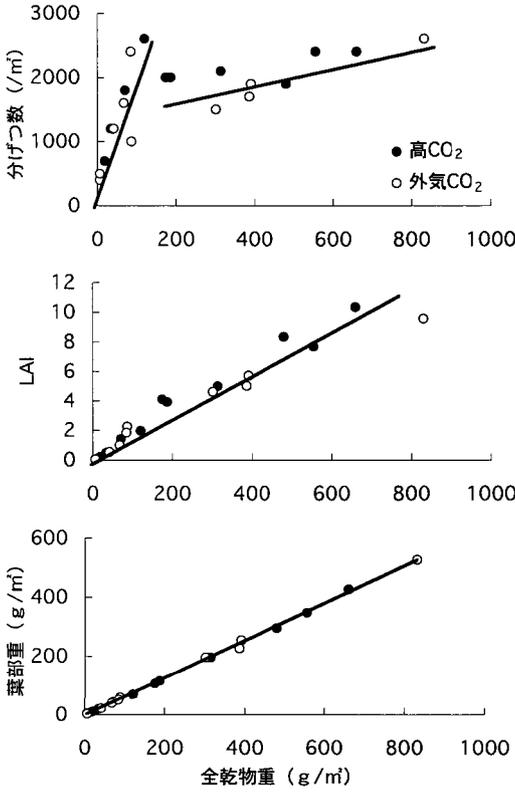


図1 高CO<sub>2</sub>区と外気CO<sub>2</sub>区における全乾物重と地上部形質との関係

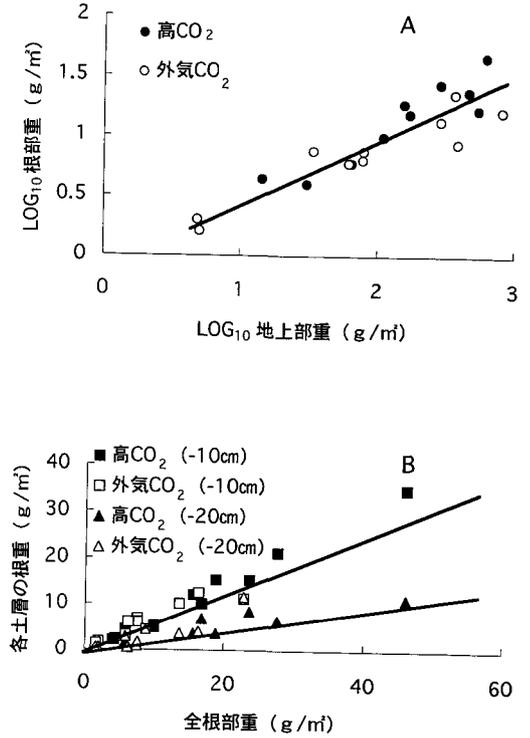


図2 高CO<sub>2</sub>区と外気CO<sub>2</sub>区における地上部重と根部重の関係 (A) および根部重と各土層の根重との関係 (B)

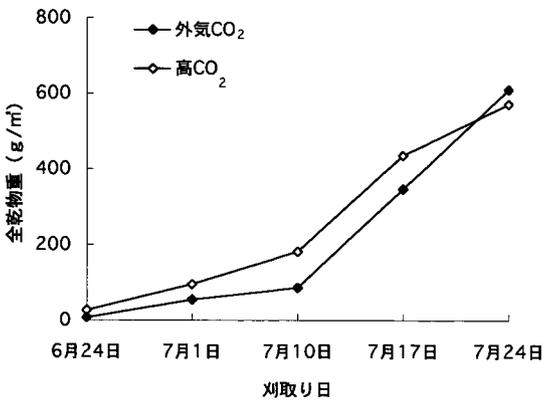


図3 高CO<sub>2</sub>区と外気CO<sub>2</sub>区における全乾物重の経時的変化

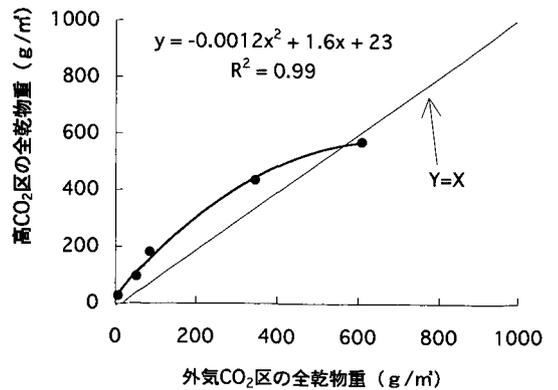


図4 高CO<sub>2</sub>区の乾物重と外気CO<sub>2</sub>区の乾物重との関係

かった。さらに乾物重の増加を数式化するために、X軸に外気CO<sub>2</sub>区的全乾物重をY軸に高CO<sub>2</sub>区の乾物重をとった結果、決定係数0.99の2次回帰線が得られた(図4)。

## 考 察

図1と2より、CO<sub>2</sub>富化は地上部形質、乾物分配および根系に直接的に影響しないか、もしくはその影響がきわめて小さいことが示された。膨大な数のCO<sub>2</sub>富化関連の論文に、本報と同様の結論がいくつか認められる<sup>1,12-17)</sup>。

植物の地上部形質や乾物分配がCO<sub>2</sub>富化により変化したとする報告は多い<sup>1,3-5,10,18,19)</sup>。一般に、高CO<sub>2</sub>環境下では光合成量が増大し、植物体が大きくなる。そのため過去の報告では、植物体の増大にともなう形質の変化が、CO<sub>2</sub>富化による特異的(直接的)な変化と認識されている可能性が高い。しかしこの変化は、生育の進行にともなう必然的(間接的)な変化である。直接的な変化を調査するときは、生育にともなう間接的な変化を考慮した評価方法をとる必要がある。具体的には、本報のように植物体の大きさ(乾物重)をY軸に置いたり、地上部重と地下部重の相関図<sup>21,22)</sup>を用いることがあげられる。

CO<sub>2</sub>富化により乾物重は、生育中期まで増加した(図3)。乾物重が増加した直接の原因は、CO<sub>2</sub>富化による光合成量の増加であろう<sup>2-4,13)</sup>。生育後期には、その乾物重の増加が減衰したが、この傾向は過去にも報告されている<sup>3,13,23,23)</sup>。

乾物重の増加が生育後期に減衰した理由として、以下の2つが考えられる。1)植物を長期にわたり高CO<sub>2</sub>環境下におくと、その生理に変化(光合成経路の酵素量の増減)が生じ、光合成量の増加が消失した<sup>1-3,24)</sup>。2)生育の進行に伴って土壤栄養条件や光環境が生育の制限要因となり、光合成量の増加が消失した<sup>1,25)</sup>。

最近、CO<sub>2</sub>富化による生理的変化の多くが、植物体窒素含有率の低下に起因することが明らかとなった<sup>23,26)</sup>。またその窒素含有率低下は、CO<sub>2</sub>富化による直接的变化でなく、生育の進行にともなう間接的变化であることも明らかとなった<sup>27)</sup>。これ

らのことから、上述1)の生理的変化は、2)の生育の進行にともなう栄養環境の悪化と同様とみなせよう。

これまでは「高CO<sub>2</sub>区の乾物重/外気CO<sub>2</sub>区の乾物重」や「高CO<sub>2</sub>区の乾物重-外気CO<sub>2</sub>区の乾物重」が、CO<sub>2</sub>富化による乾物重の増加を表わす指標として多く用いられてきた。しかし、図4よりこれらの値が、植物の生育にともない規則的に変化することがわかった。このことは、これらがCO<sub>2</sub>富化の効果を表す指標として必ずしも適切でないことを示唆している。そこで本報では、全生育期間を通じた乾物重の増加を2次回帰式で表した。この回帰式は、乾物生産に対するCO<sub>2</sub>富化の効果を表す統計値として、前述の指標より有用であると考えられる。

## 摘 要

高CO<sub>2</sub>環境(700 ppm)と外気CO<sub>2</sub>環境下で栄養生長期のトールフェスクを約2カ月間栽培し、CO<sub>2</sub>富化が地上部形質(分けつ数、LAI、葉部重)、乾物生産および地上部と地下部への乾物分配に及ぼす影響を調査した。

得られた結果は以下の通りである。1)全乾物重と地上部形質、地上部重と根部重、全根部重と各土層の根重それぞれの関係がCO<sub>2</sub>富化によって変化しなかったことから、CO<sub>2</sub>富化は地上部形質、乾物分配および根系を直接変化させないものと推測された。2)CO<sub>2</sub>富化は全乾物重を生育前期と中期で増加させたが、後期にその増加は消失した。その原因として、生育にともなう土壤栄養条件や光環境の悪化が考えられた。3)X軸に外気CO<sub>2</sub>区の乾物重をY軸に高CO<sub>2</sub>区の乾物重をとり回帰をとった結果、決定係数0.99の2次回帰線が得られた。これより、CO<sub>2</sub>富化による乾物重の増加程度が生育にともなう規則的に変化することが明らかとなった。またこの回帰曲線は、乾物生産に対するCO<sub>2</sub>富化の効果を表す指標として、有用であると考えられた。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたり、農場の職員皆様に

多大なご協力をいただきました。ここに厚くお礼申し上げます。

#### 引用文献

- 1) Gunderson, C. A. and Wullschleger, S.D. : Photosynthetic acclimation in trees to rising atmospheric CO<sub>2</sub> : A broader perspective. *Photosynthesis Research* **39** : 369-388. 1994
- 2) Polley, H. W. : Implications of rising atmospheric carbon dioxide concentration for rangelands. *Journal of Range Manage.* **50**(6) : 561-577. 1997
- 3) Ryle, G.J.A., Powell, C.E. and Tewson, V. : Effect of elevated CO<sub>2</sub> on photosynthesis, respiration and growth of perennial ryegrass. *Journal of Experimental Botany* **43** : 811-818. 1992
- 4) Curtis, P. S., Zak, D. R., Pregitzer, K. S. and Teeri, J. A. : Above- and belowground response of *Populus grandidentata* to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and soil N availability. *Plant and Soil* **165** : 45-51. 1994
- 5) Sæbø, A. and Mortensen, L. M. : Growth and regrowth of *Phleum pratense*, *Lolium perenne*, *Trifolium repens* and *Trifolium pratense* at normal and elevated CO<sub>2</sub> concentration. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **55** : 29-35. 1995
- 6) 内嶋 善兵衛 : 地球温暖化とその影響. 裳華房. 1996
- 7) Minami, K., Goudriaan, J., Lantinga, E.A. and Kimura, T. : Significance of grassland in emission and absorption of greenhouse gases. *Proceeding of the XVII International Grassland congress* 1231-1238. 1993
- 8) Hungate, B. A., Holland, E. A., Jackson, R. B., Chapin III, F. S., Mooney, H. A. and Field, C. B. : The fate of carbon in grasslands under carbon dioxide enrichment. *Nature* **388**(7) : 576-579. 1997
- 9) Ross, D.J., Tate, K.R. and Newton, P.C.D. : Elevated CO<sub>2</sub> and temperature effects on soil carbon and nitrogen cycling in ryegrass/white clover turves of an endoaquept soil. *Plant and Soil* **176** : 37-49. 1995
- 10) van Ginkel, J.H., Gorissen, A. and van Veen, J.A. : Carbon and nitrogen allocation in *Lolium perenne* in response to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> with emphasis on soil carbon dynamics. *Plant and Soil* **188** : 299-308. 1997
- 11) Leadley, P.W. and Drake, B. G. : Open top chambers for exposing plant canopies to elevated CO<sub>2</sub> concentration and for measuring net gas exchange. *Vegetatio* **104/105** : 3-15. 1993
- 12) Farrar, J.F. and Williams, M.L. : The effects of increased atmospheric carbon dioxide and temperature on carbon partitioning, source-sink relations and respiration. *Plant, cell and environment* **14** : 819-830. 1991
- 13) Tissue, D.T., Thomas, R.B. and Strain, B.R. : Atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment increases growth and photosynthesis of *Pinus taeda* : a 4 year experiment in the field. *Plant, Cell and Environment* **20** : 1123-1134. 1997
- 14) Wilsey, B. J W., McNaughton, S. J. and Coleman, J. S. : Will increases in atmospheric CO<sub>2</sub> affect regrowth following grazing in C4 grasses from tropical grasslands? A test with *Sporobolus kentrophyllus*. *Oecologia* **99** : 141-144. 1994
- 15) Norby, R. J. : Issues and perspectives for investigating root responses to elevated atmospheric carbon dioxide. *Plant and Soil* **165** : 9-20. 1994
- 16) Rogers, H. H., Prior, S. A., Runion, G. B. and Mitchell, R. J. : Root to shoot ratio of crops as influenced by CO<sub>2</sub>. *Plant and Soil* **187** : 229-248. 1996
- 17) Murray, M.B., Leith, I.D. and Jarvis, P.G. : The effect of long term CO<sub>2</sub> enrichment on the growth, biomass partitioning and mineral nutrition of sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr.). *Trees* **10** : 393-402. 1996
- 18) Retuerto, R. and Woodward, F.I. : The influence of increased CO<sub>2</sub> and water supply on growth, biomass allocation and water use efficiency of *Sinapis alba* L. grown under different wind speed. *Oecologia* **94** : 415-427. 1993
- 19) Prior, S.A., Rogers, H.H., Runion, G.B. and Hendrey, G.R. : Free-air CO<sub>2</sub> enrichment of cotton : vertical and lateral root distribution patterns. *Plant and Soil* **165** : 33-44. 1994
- 20) Troughton, Arthur : Studies on the growth of young grass plants with special reference to the relationship between the shoot and root systems. *J. Brit. Grassl. Soc.* 56-65. 1956
- 21) Troughton, Arthur : Further studies on the relationship between shoot and root systems of grasses. *J. Brit. Grassl. Soc.* 41-47. 1960
- 22) Callaway, R.M., Delucia, E.H., Thomas, E.M. and Schlesinger, W.H. : Compensatory responses of CO<sub>2</sub> exchange and biomass allocation and their effects on the relative growth rate of ponderosa pine in different CO<sub>2</sub> and temperature. *Oecologia* **98** : 159-166. 1994
- 23) Makino, A., Harada, M., Sato, T., Nakano, H. and Mae, T. : Growth and N allocation in rice plants

- under CO<sub>2</sub> enrichment. *Plant Physiol.* **115**: 199-203. 1997
- 24) Arp, W.J. : Effects of source-sink relations on photosynthetic acclimation to elevated CO<sub>2</sub>. *Plant, Cell and Environment* **14**: 869-875
- 25) Diemer, M. W. 1994 : Mid-season gas exchange of an alpine grassland under elevated CO<sub>2</sub>. *Oecologia* **98**: 429-435. 1991
- 26) Nakano, H., Makino, A. and Mae, T. : The effect of elevated partial pressures of CO<sub>2</sub> on the relationship between photosynthetic capacity and N content in rice leaves. *Plant Physiol.* **115**: 191-198. 1997
- 27) Coleman, J.S., MaConnaughay, K.D.M. and Bazzaz, F.A. : Elevated CO<sub>2</sub> and plant nitrogen use : is reduced tissue nitrogen concentration size-dependent? *Oecologia* **93**: 195-200. 1993

Effect of CO<sub>2</sub> Enrichment on Some Morphological Traits,  
Dry Matter Production and Allocation of Tall Fescue  
(*Festuca arundinacea* cv. Nanryo)

Sohei KOBAYASHI<sup>1)</sup>, Koichi YOSHIDA<sup>1,2)</sup> and Hiroshi NAKASHIMA<sup>1,2)</sup>

<sup>1)</sup>Research Group of Northern Bioresources and Ecology,  
Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, 060-8589

<sup>2)</sup>Laboratory of Exploration and Utilization of Plant Resources,  
Experiment Farms, Faculty of Agriculture,  
Hokkaido University, Sapporo 060-0811, Japan)

(Received February 12, 1999)

**Summary**

In order to investigate effects of CO<sub>2</sub> enrichment on growth of tall fescue, the plants were grown under doubled and ambient CO<sub>2</sub> concentration in about two months using open top chambers, and some morphological traits (tiller number, leaf area index and leaf weight), dry matter allocation and whole plant biomass were examined. Results obtained were as follows :

1. Relationships between whole plant biomass and morphological traits, shoot biomass and root biomass, total root biomass and root biomass in two soil strata were not changed by CO<sub>2</sub> enrichment. This indicated CO<sub>2</sub> enrichment could not have direct effects on morphological traits, dry matter allocation and root system of tall fescue.

2. Whole plant biomass increased to some extent for a while from the start of CO<sub>2</sub> enrichment. However, its increase of biomass by CO<sub>2</sub> enrichment disappeared at the end of the experiment. The disappearance was considered to be caused by deterioration of mineral nutrition and light environment in progress of growth.

3. By plotting plant biomass of ambient CO<sub>2</sub> against one of doubled CO<sub>2</sub>, a clear quadratic function ( $R^2=0.99$ ) was obtained as a good index of growth response (biomass increase) of tall fescue to CO<sub>2</sub> enrichment.