

トンネルの換気量が気温・地温・CO₂濃度およびニンジンの生育に及ぼす影響

古藤英司・町田治幸

Effect of ventilation rate on the air temperature, ground temperature, carbon dioxide concentration and the carrot growth in plastic tunnel
Hidesi Kodo and Haruyuki Machida

要約

古藤英司・町田治幸(1987):トンネルの換気量が気温・地温・CO₂濃度およびニンジンの生育に及ぼす影響。徳島農試研報24:1~9.

穴換気によるトンネル換気量がトンネル内気温,地温,CO₂濃度およびニンジンの生育に及ぼす影響を検討した。

トンネル表面積に対する換気孔面積率が0.5%までではトンネル密閉とほとんど気温差はみられなかったが1%以上になると明らかな差がみられた。地温は気温ほど換気量に影響されず,1%の換気量までは温度差は少なく,2%の換気量では明らかな差があった。

トンネル内CO₂濃度はトンネル密閉では約50~2500ppmの日変化を示し,換気量の増加とともにCO₂濃度の日較差は小さくなった。ニンジンの生育は1月末に換気を開始することにより病害の発生を抑え,根の肥大も速まった。

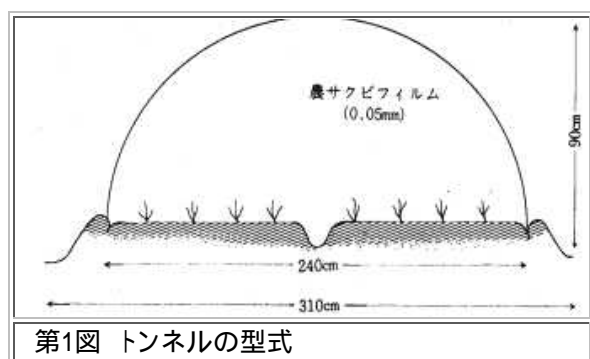
はじめに

ニンジンのトンネル栽培のうち1~2月には種する場合はトンネル被覆期間が短いこと,生育初期を除いて温暖であることなどからトンネル換気は比較的単純である。一方11~12月には種する場合は生育前期は比較的温暖で,中期に厳寒期となり,後期に再び温暖となるためトンネル換気は複雑である。特に徳島県の場合は省力化を目的にした穴換気が普及しているため,トンネル換気は一層複雑である。

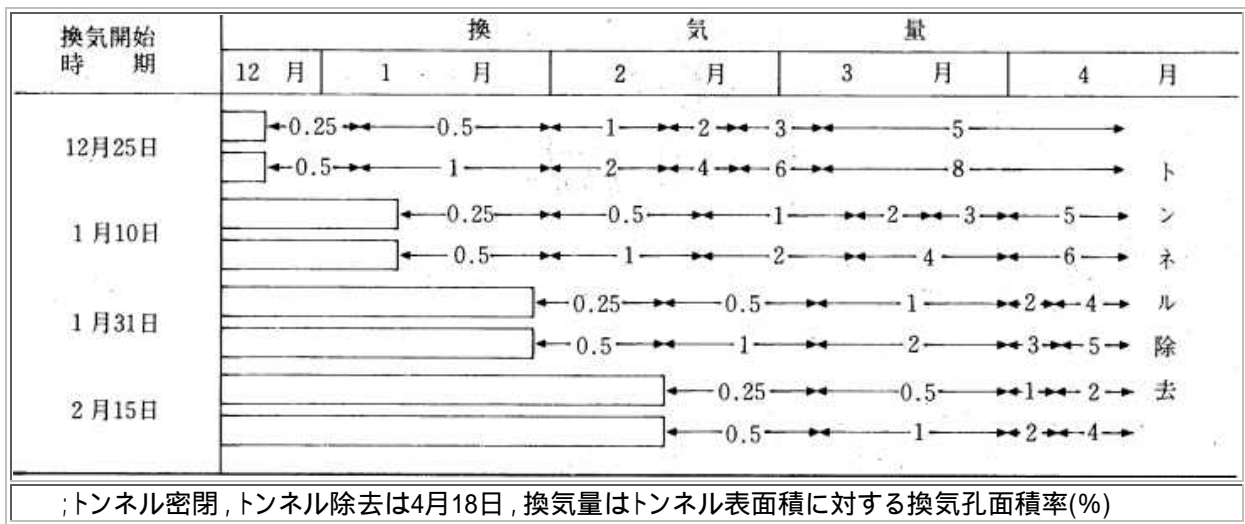
トンネル内の気象についての報告はきわめて少なく,^{5),13),14)}穴換気における換気量とトンネル内気象については筆者らが2・3の知見を報告した以外見当らない。そこで穴換気によるトンネル内気象の実態を知り,ニンジンの秋まきトンネル栽培での換気法を確立するため,換気量がトンネル内の気温,地温,CO₂濃度およびニンジンの生育に及ぼす影響を検討し,成果を得たので報告する。

試験方法

試験 1 1982年12月9日にFS五寸二号をは種した。畦は東西方向で畦間120cmの4条播きとし,は種直後に2畦を第1図のようにトンネル被覆した。トンネルに使用した割り竹の長さは370cmで,被覆資材は厚さ0.05mm,幅370cmの農サクビフィルムを使用した。施肥量は緩効性肥料を主体に10アール当り窒素20kg,リン酸23kg,カリ20kgを畦立て10日前に基肥として全面施用した。1月25日に間引きを行い,株間を12cmにした。間引き終了後土寄せを行い,追肥として10アール当り窒素5kg,カリ5kgを条間に施用した。換気は直径12cmの簡易穴あけ器を使用し,トンネルの肩部から始め,換気量を多くするに従って上部から下部へと換気孔をあけた。換気量はトンネル表面積に対する換気孔面積率で表わし,第1表のように換気を行った。1区のトンネルの長さは5mとした。



第1表 換気開始時期及び換気量(1982)



生育調査は畦中央の2条を2m掘りとり, 生育中庸の15株を選び, 両畦から合わせて30株を調査した。トンネル内気温はトンネル中央の通路上約40cmの高さで測定した。

試験 2 1985年11月12日にFS五寸二号をは種した。栽培様式および調査方法は試験 1と同じとした。トンネルの長さは各区とも6mとし, 換気は第2表のように行った。

第2表 換気開始時期及び換気量(1985)

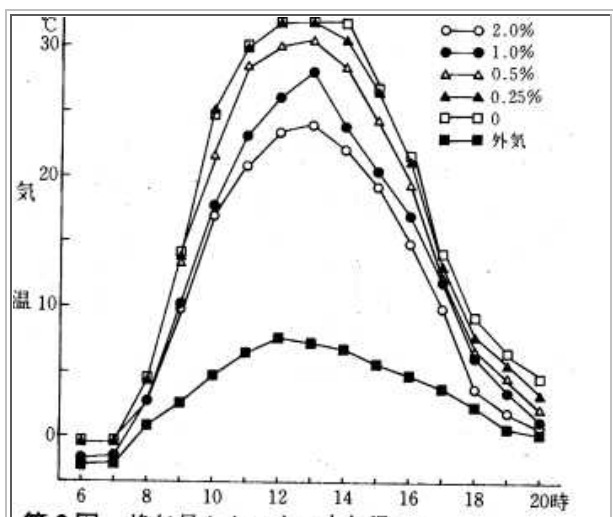


地温は東西方向に作った2畦のうち南畦中央部の地下10cmで測定した。

トンネル内CO₂濃度は10月26日に同品種をは種した同型のトンネル内の畦上約30cmから内径6mm, 長さ250cmのサンプリングチューブで吸引して富士赤外線ガス分析計(ZFD)で測定した。

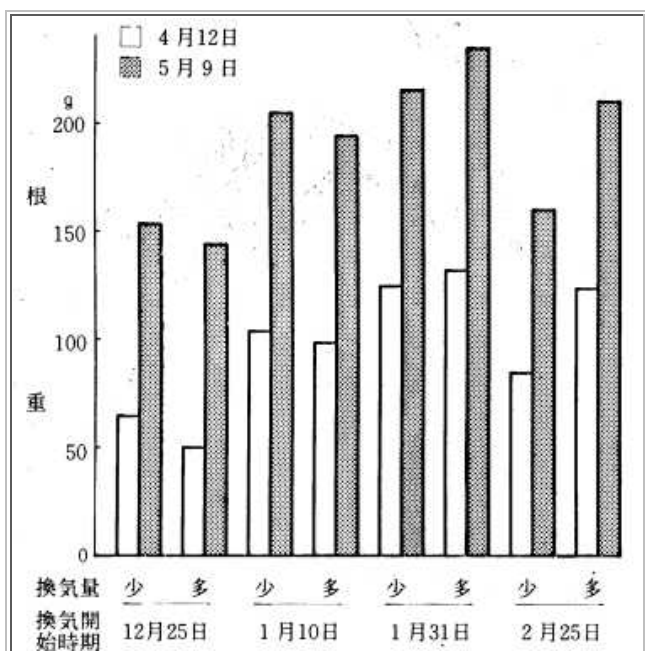
試験結果

試験 1 晴天日の異なる換気量での, トンネル内気温は第2図に示した。無換気と0.25%の換気量では最高気温および最低気温にはほとんど差はなかった。0.5%の換気量では無換気に比べ最高気温および最低気温ともほとんど差がみられない場合と, 最高気温が2 ほど低い場合があった。1%以上の換気量では明らかに温度差がみられ, 1%の換気量では無換気に比べて最高気温で4~5 , 2%の換気量では同じく8~9 の差があった。換気量の違いによる温度差は日没後もみられたが, 時間とともに差は少なくなり, 最低気温はほとんど差はなかった。



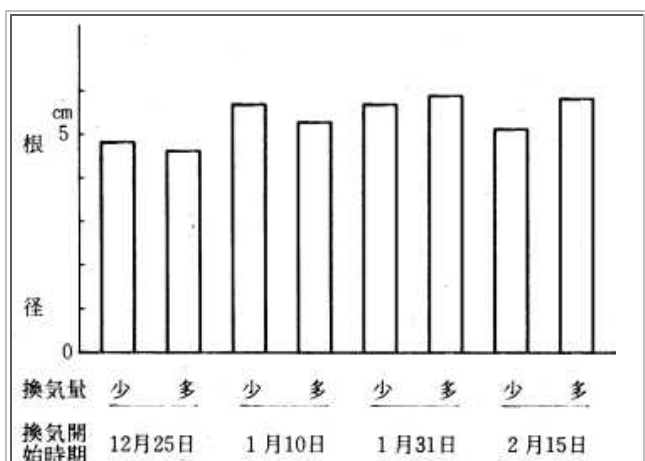
第2図 換気量とトンネル内気温
1983年2月14日, 日照時間9.0h, 日射量390cal/cm²

ニンジンの生育は, 12月25日から換気を開始した区では明らかに根の肥大は劣り, 2月15日から換気を開始し, しかも換気量を少なくした区の根重も小さかった。最も根の肥大の速かったのは1月31日から換気を開始し, 換気量を多くした区であった(第3図)。

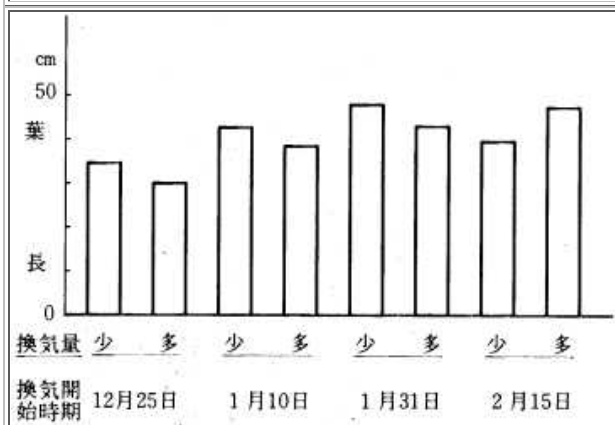


第3図 換気開始時期及び換気量がニンジンの根重に及ぼす影響

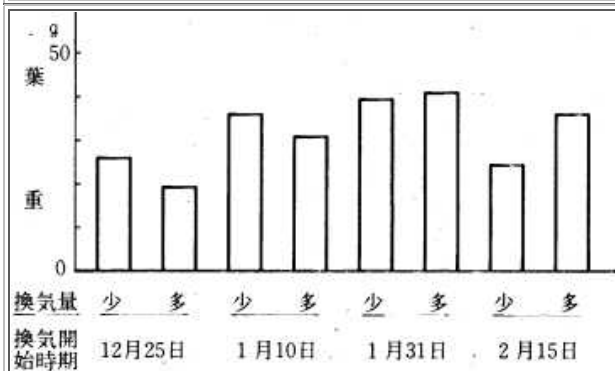
根径, 葉長, 葉重とも根重とほぼ同じ傾向であった。根長は12月25日から換気を開始した区と2月15日から換気を開始した区で短く, 特に2月15日から換気を開始し, しかも換気量を少なくした区の根長は最も短かった(第4, 5, 6, 7図)。



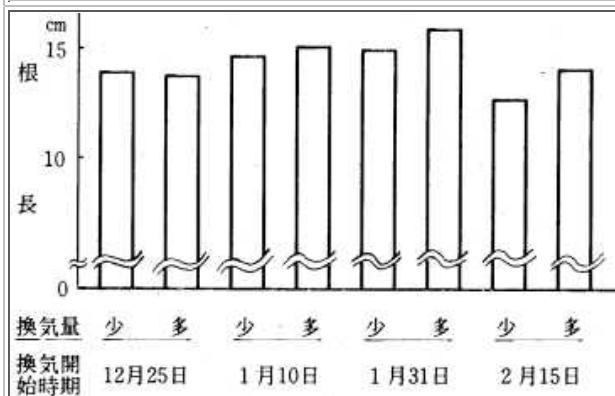
第4図 換気開始時期及び換気量がニンジンの根径に及ぼす影響(1983年5月9日)



第5図 換気開始時期及び換気量がニンジンの葉長に及ぼす影響(1983年4月12日)

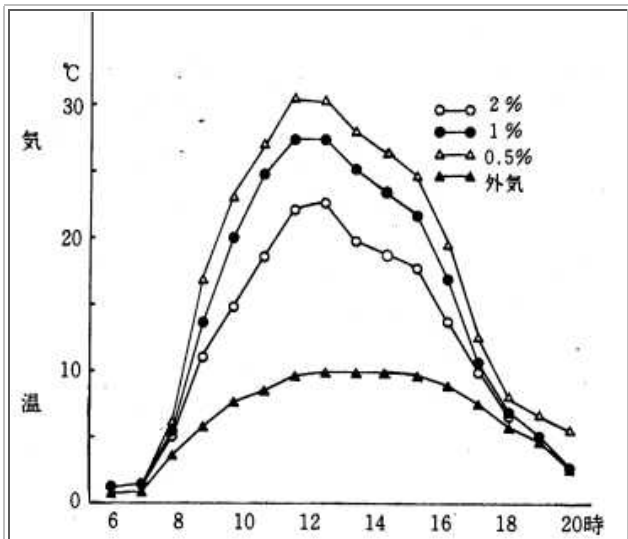


第6図 換気開始時期及び換気量がニンジンの葉重に及ぼす影響(1986年4月12日)

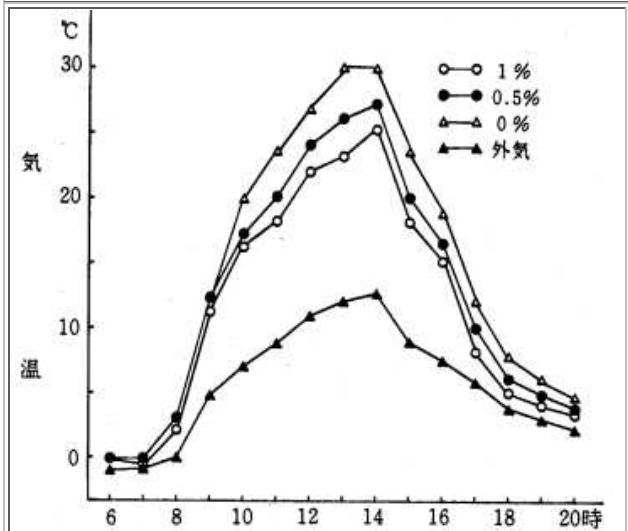


第7図 換気開始時期及び換気量がニンジンの根長に及ぼす影響(1986年4月12日)

試験-2 トンネル内最高気温は無換気と0.5%の換気量では約3℃, 0.5%と1%の換気量では2~3℃, 0.5%と2%の換気量では9~10℃の差がみられた。いずれの換気量でも最低気温はほとんど差がなかった(第8, 9図)。

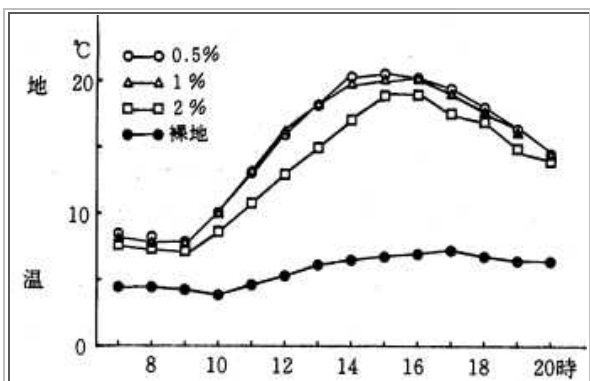


第8図 換気量とトンネル内気温
1986年2月22日, 日照時間9.0h, 日射量380ca1/cm²



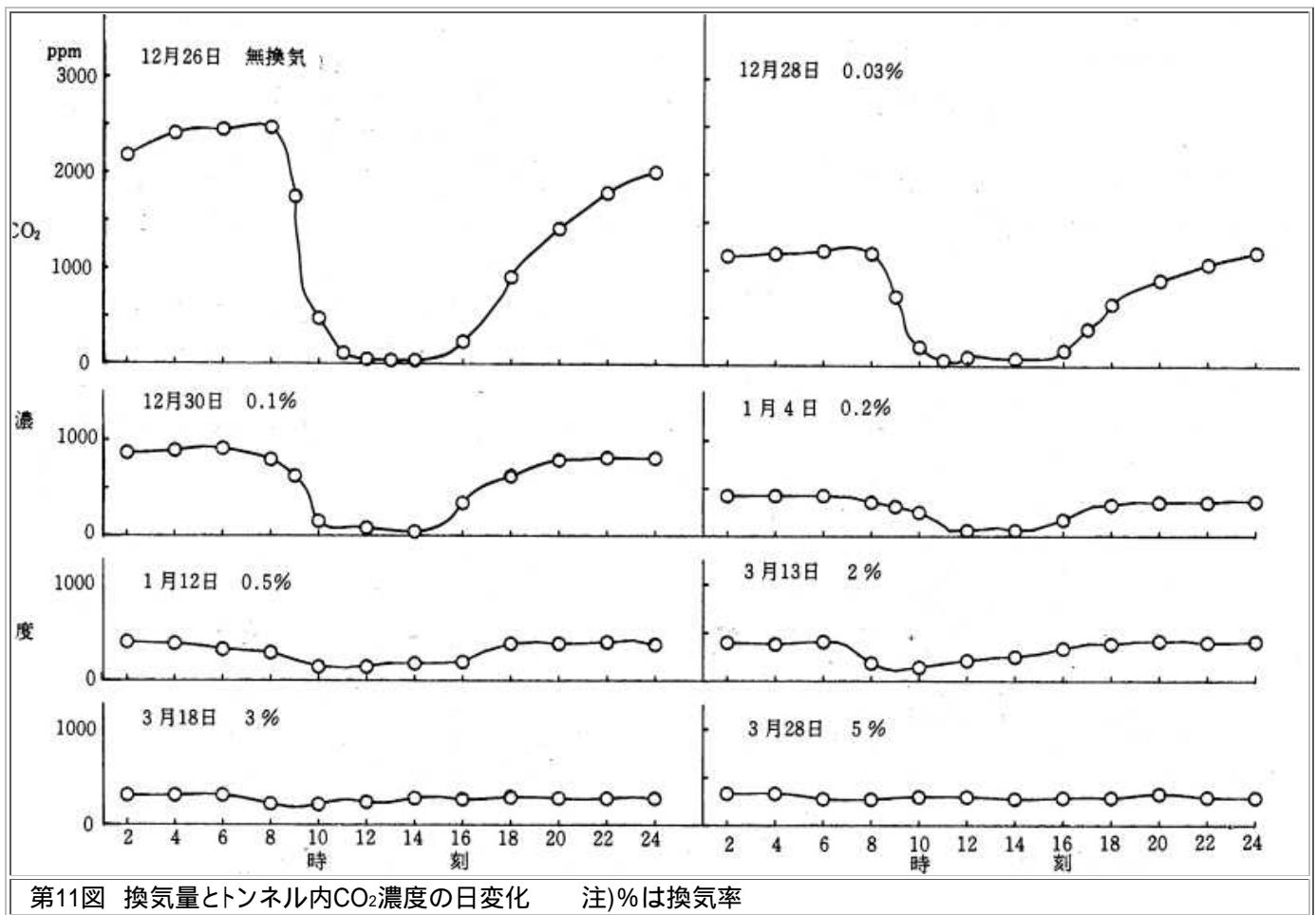
第9図 換気量とトンネル内気温
1986年1月29日, 日照時間7.8h, 日射量389ca1/cm²

トンネル内地温は気温ほどの日変化はなく, 無換気での1~2月の晴天日では最高地温が21~22℃, 最低地温が8℃程度で推移した。一方日射量の少ない曇天日では最高地温は低くなるが, 最低地温は晴天日と大差なかった。換気量による差も少なく, 無換気と0.5%の換気量では図示していないが全く差はみられず, 0.5%と1%の換気量でもほとんど差はなかった。2%の換気量になると, 0.5%の換気量に比べて地温上昇が遅れ, 最高地温が2~3℃低かった。最低地温はほとんど差はなかった(第10図)。



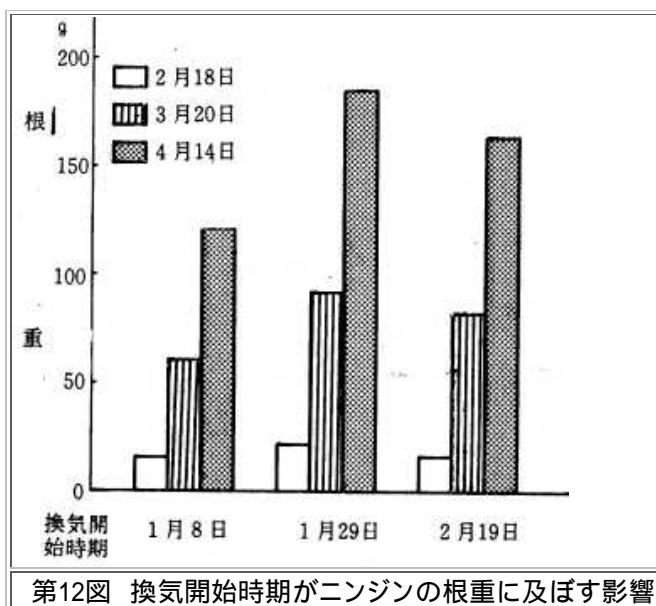
第10図 換気量とトンネル内地温
1986年2月22日, 地下10cm

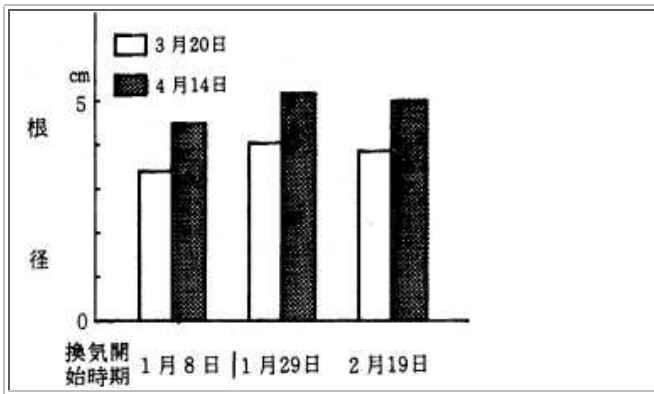
異なる換気量でのトンネル内CO₂濃度の日変化を第11図に示した。無換気では8時に2500ppmと最高値を示し, 8時以降急速に減少し, 11時には100ppm以下となり, 15時までで50~100ppmで推移した。15時以降のCO₂濃度は緩やかに増加し, 午前4時頃には最高値に近い濃度となった。



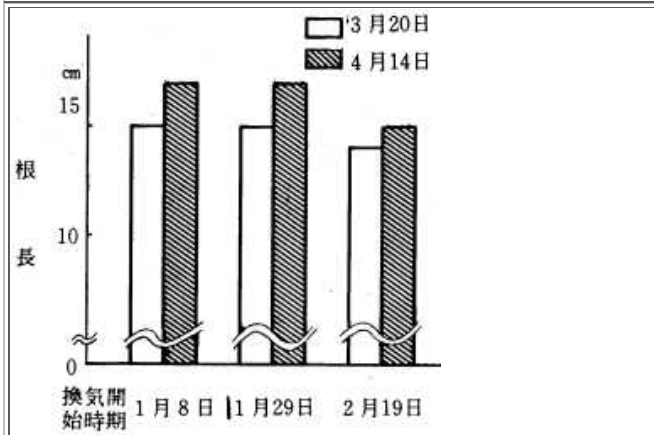
0.03%の換気量ではCO₂濃度の最高値が無換気時の約2分の1となるが昼間は無換気とよく似た低濃度であった。換気量を多くするほどCO₂濃度の日較差は小さくなり、0.5%の換気量では200～500ppmの間で推移し、3%の換気量では250～350ppmの間で推移した。

ニンジンの生育は、1月29日から換気を開始した区の根重が最も勝り、1月8日から換気を開始した区の根重が最も劣った(第12図)。根径は差は少なかったものの根重と同じ傾向であった(第13図)。根長は2月19日から換気を開始した区が最も小さく、1月8日に換気を開始した区と1月29日に換気を開始した区の差はほとんどなかった。(第14図)



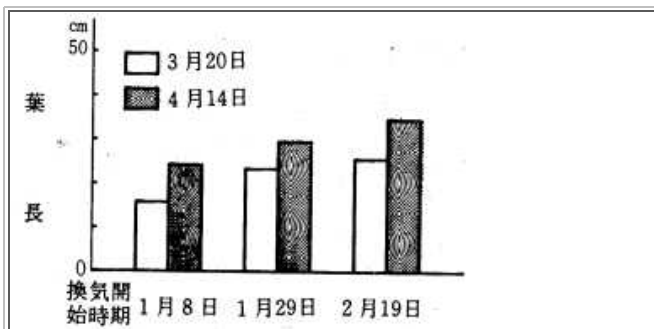


第13図 換気開始時期がニンジンの根径に及ぼす影響

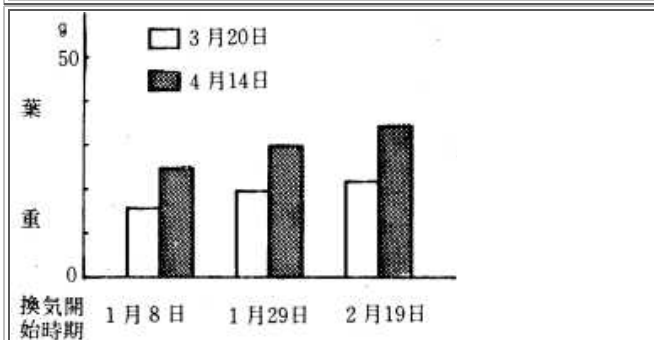


第14図 換気開始時期がニンジンの根長に及ぼす影響

葉長、葉重とも換気開始が遅れるほど大きくなった(第15、16図)。また1月8日、1月29日に換気を開始した区には病害はほとんどなかったが、2月19日に換気を開始した区では2月下旬に斑点細菌病が発生した。



第15図 換気開始時期がニンジンの葉長に及ぼす影響



第16図 換気開始時期がニンジンの葉重に及ぼす影響

考 察

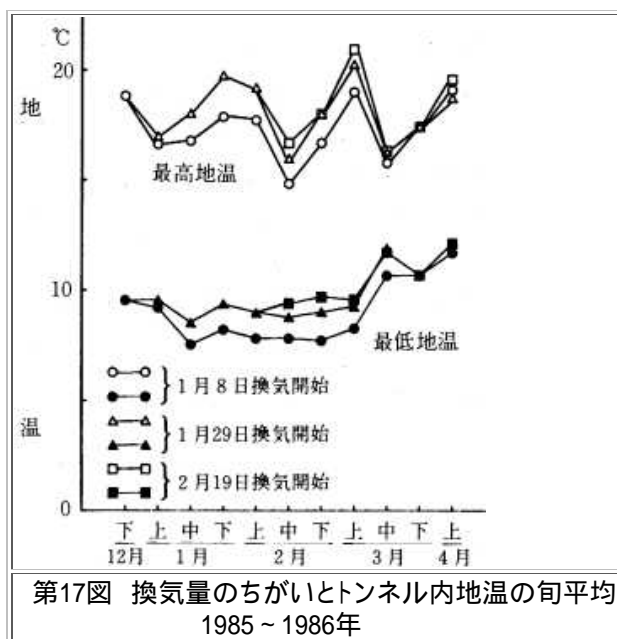
1 換気量とトンネル内気温および地温

トンネル被覆を行った場合のトンネル内気温は昼間高温になることが特徴で、この高温が生育促進や花成の抑制に効果があることが知られている。一方筆者ら⁷⁾も指摘したようにトンネル密閉が長期間続いた場合は高温障害を起し、生育が

遅延する場合もある。またトンネル内といえども最低気温は外気温と大差ないため結氷し、むりな作型では低温障害を受ける¹⁾ことも指摘した。トンネル被覆による高温障害を回避するため有孔フィルムによるトンネル被覆も普及しているが保温力に問題があり、利用される作型、作物も限られている。

穴換気による換気量とトンネル内気温の測定例はきわめて少ない。トンネル表面に換気孔をあけ、トンネル表面積に対する換気孔面積率が0.25%では、無換気とほとんど気温差はみられなかったが、0.5%の換気量では無換気とほとんど差がない場合と最高気温に約3℃の差がある場合があった。曇雨天の場合はいずれの換気量でもほとんど同じ温度で推移したことから、0.5%の換気量と無換気との調査日による温度差の違いは日射量によるところが大きいと思われ、換気孔からの熱収奪の大きくなる風力による影響もあったと推察される。

トンネル内地温の測定例は少なく、金関⁵⁾は大阪での3月上旬の平均最低地温は筆者らの測定値より4℃程度低かったとしているが、測定位置の深さ、トンネルの大きさによる差と思われる。換気量と地温について金関⁵⁾は3月上旬に調査し、約3%の換気孔面積率の有孔フィルムと無孔フィルムでは最高地温に約3℃の差があるとし、本報告とほぼ一致した。しかし土屋¹⁴⁾は5～6月に2.5～10%の換気孔面積率の異なる有孔フィルムでトンネル被覆を行うと、地下5cmでは晴天日、曇天日とも最高気地温に差はなかったと報告している。5～6月では日射量が多く、トンネル内気温も高くマルチを併用しているため高い水準での比較であるのに対し、2～3月は日射量も少なく、トンネル内気温も低かったため、トンネル内気温に大きく差のする2%の換気量が地温の差に現れたものと思われる。ニンジンの生育適地温は16～18℃^{10), 12)}とされるが、ニンジンの根の肥大が始まる2月下旬は、0.5～1%の換気量にした区が2%の換気量にした区に比べ生育適地温または適地温に近い温度域で生育する時間が長くなり(第17図)、ニンジンの根の肥大が速まるものと思われる。



2 換気量とトンネル内CO₂濃度

ガラス温室やビニールハウス内でのCO₂環境についての報告は多いが、トンネル内のCO₂の消長についての報告はきわめて少ない。温室内でのCO₂は夜間は土壌からの供給と植物の呼吸により増加し、光合成が始まると急速に減少し、換気することにより外気のCO₂濃度に近くなり、一般には200～600ppmの日変化を示す。トンネル内のCO₂の消長について金関⁵⁾は、間口80cmのトンネル内にインゲンマメを栽培した場合、トンネル無被覆に比べてCO₂の最高濃度が6.9倍の高濃度になり、最低濃度は0.6倍になるとしている。外気のCO₂濃度は風や測定場所により異なるが300ppm前後である。これから換算すると金関の報告では180～2000ppmの日変化を示したと考えられる。一方遠山ら¹³⁾は温室内にトンネルを作り、メロンを定植してCO₂濃度を調査した結果、CO₂濃度は3～6時の間に最高値の2800ppmとなり、9時には800ppmに急減したと報告している。本報告の場合も作物、トンネル型式は異なるものの、トンネル密閉状態では日の出直前では2500ppmになり、日の出とともに急減し、約3時間後の11時には100ppm以下になった。このCO₂濃度の日変化は前述したように植物の呼吸、土壌からの供給と光合成によるもので、農サクビフィルムがCO₂をきわめて通しにくいいため生じるとされる。一般のC3植物のCO₂補償点は50～100ppmの間にあることから、トンネル密閉状態での光合成量は極めて少ないものと推察される。

トンネル穴換気における換気量とトンネル内CO₂濃度の変化についての報告は少な⁹⁾が、トンネル換気量としては極めて少ない0.03%の換気を行うことで、昼間はいぜんとして100ppm以下の低濃度になるが、夜間の最高値が無換気時の約2分の1になることから、0.03%という少ない換気量でもトンネル内外でのガス交換が行われている事がうかがえる。

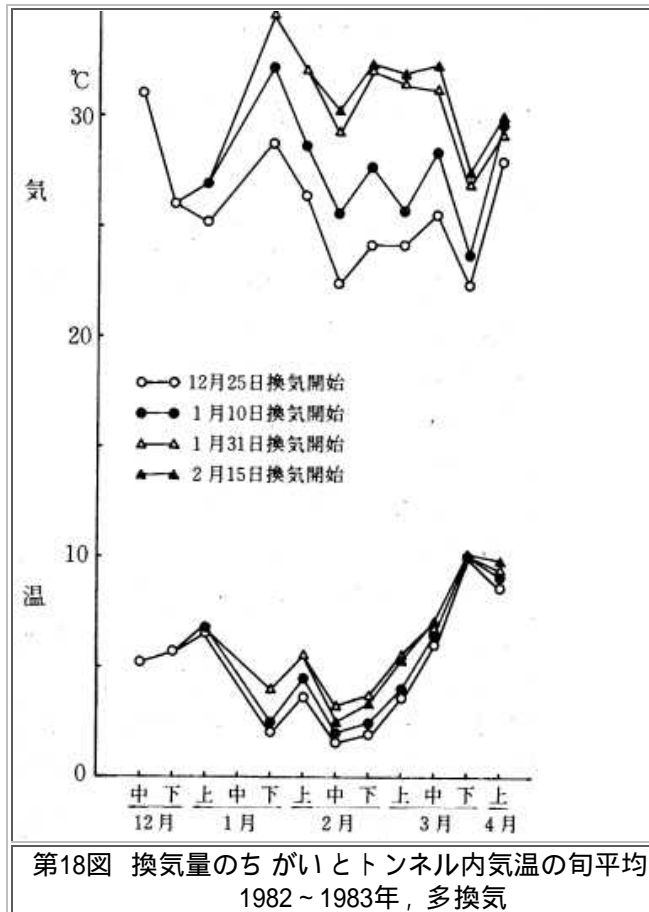
換気量が0.2%では昼間のCO₂濃度は100～200ppmで推移し、夜間も700ppm程度になることからガス交換はかなり行われていると思われる。金関⁵⁾は約1%の換気孔面積率の有孔フィルムでトンネル被覆し、インゲンマメを栽培した場合、210～480ppmの日変化を示し無被覆での日変化に近づいたと報告している。本報告でも1%の換気量では200～400ppmの日変化を示し、金関の報告とほぼ一致した。

無被覆状態での生育層内のCO₂濃度は植物の生育段階により異なるが、光合成の旺盛な時期のキュウリの生育層内

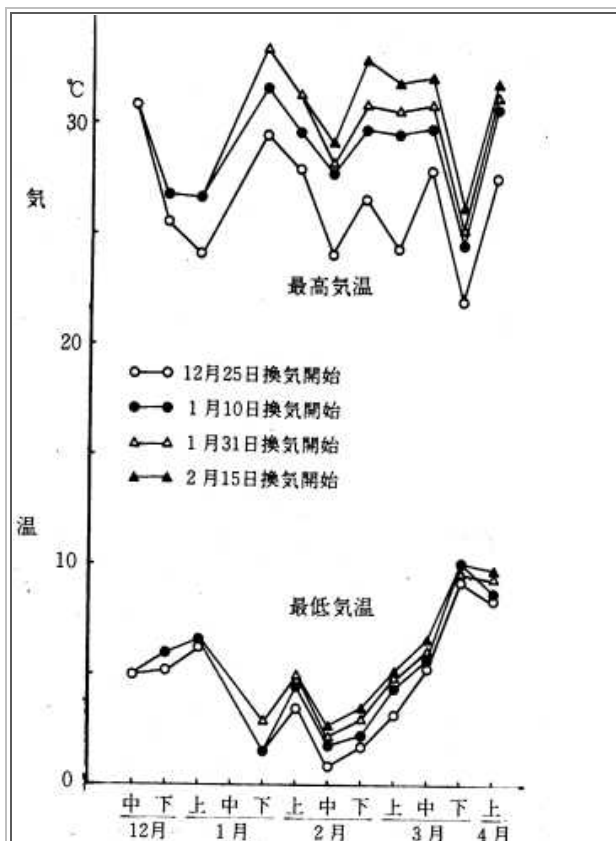
のCO₂濃度の日較差は約100ppmである³⁾ことを考えれば、トンネル換気量が3%を超えるとトンネル内CO₂濃度は無被覆状態に近づいていると考えられる。

3 換気法とニンジンの生育

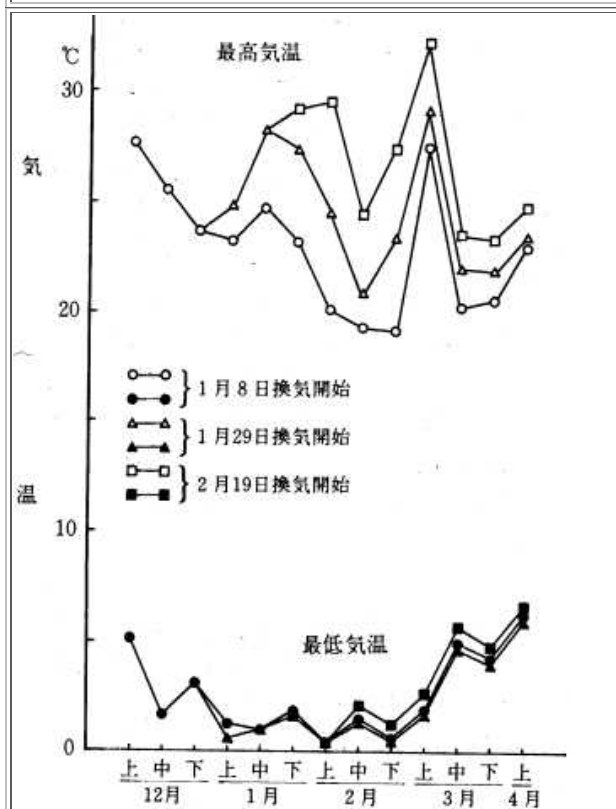
ニンジンのトンネル栽培で、穴換気法を行った場合の換気量とニンジンの生育に言及した報告は見当たらない。換気量を変えた場合のトンネル内の旬別気温は第18, 19, 20図で示した。換気開始が早い場合は低温管理となりニンジンの地上部の生育が悪くなったと思われるが、土壌水分含量や空気湿度の低下の影響も考えられる。逆に換気開始が遅かった場合の地上部の生育は、試験 1では換気開始が遅く、しかも換気量の少なかった区では3月末まで0.5%という少換気であったため、高温による葉先枯れがあったこと、古葉が枯死したことなどから葉長、葉重とも少なかったが、試験 2では換気が遅れるほど葉長、葉重とも多かった。堀ら³⁾は昼夜とも高温下では葉重は少なくなるとしているが、トンネル栽培のように日較差の大きい場合での高昼温は葉重を少なくしないと思われる。



第18図 換気量のちがいとトンネル内気温の旬平均
1982～1983年，多換気



第19図 換気量のちがいとトンネル内気温の旬平均
1982～1983年, 少換気



第20図 換気量のちがいとトンネル内気温の旬平均
1985～1986年

換気開始が早い場合は、地上部と同様に根の肥大も遅れ、特に換気量の多い区ほど肥大は劣った。逆に換気開始が遅れた場合は換気量の多い区の根の肥大が勝り、換気開始時期は同じで換気量の多少による根の肥大が逆転する時期が1月10日と1月31日の間であることから、この時期に換気開始の適期があると推察される。また換気開始が遅れ、換気量の少なかった区では根の肥大が劣っただけでなく裂根の発生が多かった。裂根の原因は、収穫時期の遅れや土壌水分の急変などで、育後半に急速に肥大すると裂根が多くなるとされている。本試験では土壌水分の調査は行わなかったが、遅くまで換気が少なかったため、雨水がトンネル内に入ることが少なく土壌が乾燥していたのに加えて換気量の多くなった4月上旬には62mm、中旬には45mmという多量の降雨があったため裂根が増えたと思われる。

根長については10~26の温度内では低温ほど長くなる¹²⁾とされ、勝又⁶⁾や松浦¹⁵⁾は同品種でも高温期の栽培ほど短根になると報告している。本試験でも換気開始が遅く、しかも換気量め少ない高温管理区では地上部の生育は旺盛であるにもかかわらず根長がやや短くなることが明らかになった。

FS五寸二号は斑点細菌病には強い品種とされる²⁾が、換気開始が遅れると発病した。換気が遅れた場合は日中高温であるだけでなく多湿であると思われ、斑点細菌病が発生しやすくなったと推測される。方トンネル密閉状態では前述したように昼間のCO₂濃度が低下し、光合成量が少ないと思われるため、トンネル換気が遅れると光合成が少ないまま生育し、病害に対する抵抗性が低いと推察され、同病害の耕種的予防対策としても換気は1月末までには開始する必要があると考えられる。

地上部と地下部の生育については一定の傾向はみられず、葉長、葉重め多かった区の根の生育は必ずしも良くなかった。ニンジンの地上部と地下部の比率は、地上部40~50%、地上部50~60%が理想¹²⁾とされるが、11~12月上旬には種するトンネル栽培では地上部の比率を下げる温度管理が必要と思われる。本報告では地上部と地下部の適正な比率は明らかにならなかったが、本作型をより安定させるためには適正なT/R率を明らかにする必要がある。

以上から11月中旬から12月上旬には種するトンネル栽培の穴換気では、1月末に換気を開始し、2月前半は0.5%、後半は1%、3月は2~3%の換気量とし、4月上旬には急速に換気量を多くして外気に近づける換気法が基本になると考えられる。しかし、は種期が進進した場合はこの基本の換気法を若干手直しする必要があると思われる。また換気量が0.25%の場合は、無換気とほとんどトンネル内気温は変わらないにもかかわらずガス交換は相当行われていることから、基本の換気法に先立って少ない換気を行うことがニンジンの生育にどう影響するかを検討し、この基本換気法をより発展させる必要がある。

摘要

穴換気によるトンネル換気量がトンネル内気温、地温、CO₂濃度およびニンジンの生育に及ぼす影響を検討した。

1 トンネル表面積に対する換気孔面積率が0.25%ではトンネル密閉とほとんど気温差はなく、0.5%でも大差なかった。換気量が1%以上になると明らかに気温差がみられた。

2 地表下10cmの地温は、0.5%の換気量と1%の換気量での差は少なく、2%の換気量では明らかに差はみられた。しかし気温ほど換気量に影響されなかった。

3 トンネル内CO₂濃度はトンネル密閉では日の出前が2500ppmと最高値を示し、日の出後約3時間で100ppm以下となり、16時から再び増加した。0.03%の換気量でもガス交換は行われ、2%の換気量では250~400ppmの日変化を示した。

4 1月末に換気を開始し、2月前半は0.5%、後半は1%とし、3月は2~3%、4月は換気量を急増させる換気法がトンネル内の気温、地温、CO₂濃度環境がより好適となり、ニンジンの根の肥大を速めた。

5 換気開始が早すぎる地上部、地下部とも生育が遅れ、逆に遅すぎると根の肥大が劣るだけでなく斑点細菌病の発生もみられ、生育末期の降水量によっては裂根が増加することが明らかになった。

引用文献

- 1) 板東一宏・古藤英司・町田治幸(1986): 西南暖地におけるスイートコーンのトンネル栽培. 徳島農試研報, 23:1 10.
- 2) 福西務(1980): 野菜・花の新病害と対策. 今月の農薬, 24(2): 14~16.
- 3) 堀裕・新井和夫・土岐知久(1970): 培地温と気温の組み合わせがそ菜の生育ならびに養分吸収に及ぼす影響IIニンジン, セルリー, ピーマン, つぎ木キュウリと台木用カボチャに関する実験. 園試報告A(9): 189 210.
- 4) 伊東正(1973): 疏菜の生育, 生理におよぼす炭酸ガス環境の影響. 千葉大学園芸学部特別報告, 7.
- 5) 金関四郎(1968): 小型被覆栽培の微気象学的研究. 大阪府立大学紀要, 農学・生物学, 20: 75~121.
- 6) 勝又広太郎(1958): 長崎五寸人参に関する研究. 長崎県農業試験場試験研究報告集: 149~166.
- 7) 古藤英司・町田治幸・隔山普宣(1983): 春どり青首ダイコンの被覆下栽培における温度管理が花成, 抽だいに及ぼす影響. 徳島農試研報, 21: 9 15.
- 8) 板東一宏(1985): 春まきトンネルダイコンの生育初期の昼温が抽だいに及ぼす影響. 徳島農試研報, 22: 6 12.
- 9) 町田治幸・古藤英司・小川純一・隔山普宣(1985): 春どり青首ダイコンの被覆下栽培におけるは種期と品種適応性. 徳島農試研報, 22: 13 27.
- 10) 松尾良満・菅原祐幸(1973): ニンジンの品種生態に関する研究(第1報)冬まき栽培における生育および形質発現におよぼす地温の影響. 園芸学会要旨, 48秋: 216 217.
- 11) 松浦秀正(1966): 三寸人参の周年栽培. 生育と品質及び経済性との関係. 農及園, 41(12): 1775 1779.
- 12) 鈴木芳夫(1975): 生育ステージと生理, 生態. 農業技術体系ニンジン(基礎編), 農文協: 17-81.
- 13) 遠山証雄・竹内芳親(1974): 砂丘地における園芸作物の光合成および呼吸に関する研究(第1報)メロントンネル内のCO₂濃度の変化. 園芸学会要旨, 49秋: 230 231.
- 14) 土屋弘道(1969): 果菜類のトンネル栽培における換気の省力化. 農及園, 44(8): 1257 1260.