

## ダイコン種子の水耕栽培過程における成分含量変化 第3報

### —明栽培と暗栽培による二酸化炭素排出量の比較—

舟木 行雄, 佐藤美恵子

#### Change of Constituent Content in Hydroponics of Radish Seed Part 3 —Comparison of Ejective Carbondioxide in Light and Dark Cultivation—

Yukio Funaki and Mieko Satō

#### 緒 言

高等植物の種子が発芽する条件の一つに光量の関係がある。

ダイコン種子の発芽は採種後約1ヶ月から1ヶ年では暗所の方がよく発芽するが、その後は明所でも暗所でも発芽するといわれている<sup>1)</sup>。

本報は採種後1ヶ年経過したダイコン種子を同一栽培液によって明所と暗所で水耕栽培し、24時間ごとに二酸化炭素排出量と合せて無水物量、灰化物量、カリウムおよびリン量を測定して栽培過程における明所栽培と暗所栽培を比較検討したので報告する。

#### 実 験

##### 1. 材料

ダイコン種子：大阪四十日ダイコン *Raphanus sativus* L. 種子（1984年6月採種，発芽率85%以上，トキタ種苗 K.K製）

発芽床：第1報に準じた<sup>2)</sup>。

栽培液：表1の通りに調製した。

表1 栽培液<sup>2)</sup>

|                                   | mM  |                                  | μM   |
|-----------------------------------|-----|----------------------------------|------|
| Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> | 3.0 | FeCl <sub>3</sub>                | 30.8 |
| KNO <sub>3</sub>                  | 3.0 | 酒石酸                              | 33.3 |
| MgSO <sub>4</sub>                 | 2.0 | H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>   | 40.4 |
| KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>   | 2.0 | CuCl <sub>2</sub>                | 0.3  |
|                                   |     | MnCl <sub>2</sub>                | 7.6  |
|                                   |     | Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> | 0.1  |
|                                   |     | ZnCl <sub>2</sub>                | 0.7  |

##### 2. 方法

栽培法：50ml 容ビーカー2個にそれぞれ大阪四十日ダイコン種子を約400個体ずつ入れ、栽培液を約30ml加えて一方は明所（直射日光を避けた室内で室内照明は7時に点灯18時に消灯）他方は暗所（戸棚を改造した暗室）に4時間浸漬した。

浸漬完了後、栽培開始時の測定試料として明所のもの（以下明栽培）と暗所のもの（以下暗栽培）を20個体（種皮を除く以下同様）3点ずつ除き残余は予め1lの栽培液を入れて準備しておいた発芽床の網上に均一になるようにまき、9日間明栽培と暗栽培をおこなった。その間24時間ごとに両栽培から20個体3点ずつ採取し経日試験の測定試料とした。また試験採取時に栽培液の交換をおこなった。

試験期間中の室温は29~32℃であった。

測定法：二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）測定は試料に付着している栽培液をろ紙に吸着して取り去り体重量を測定した後栽培液で湿らせた脱脂綿で根の部位を軽く包み内径18cm、高さ11cmのガラス製無色透明デシケーターに入れ、次に同型のビーカーにBa(OH)<sub>2</sub>規定液を一定量入れたものを一定時刻に入れて密封し、明栽培のものはそのままにし、暗栽培のものは黒い布で遮光して3時間保った。以下西条八束の測定法に準じた<sup>3)</sup>。デシケーター内部の温度は27~30℃であった。

CO<sub>2</sub>の測定後、同一試料で無水物および灰化物の分析をおこなった。

また、カリウム（K）とリン（P）を分析するために上記同様の方法で別に栽培し、10個体3点ずつ採取した。

無水物、灰化物、KおよびPの分析にあたっては純水で表面を洗浄し、付着した水はろ紙で吸着除去したもの

表2 体重量, 無水物量および灰化物量の変化 (20個体)

| 項目              | 日数 | 0      | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8      | 9      |
|-----------------|----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| 体重量(g)          | L  | 0.595  | 0.831 | 1.590 | 3.266 | 4.356 | 6.670 | 6.782 | 9.914 | 10.995 | 11.474 |
|                 |    | ±0.013 | 0.017 | 0.069 | 0.225 | 0.122 | 0.264 | 0.222 | 0.277 | 0.448  | 0.604  |
|                 | D  | 0.592  | 0.868 | 1.834 | 3.805 | 4.595 | 6.241 | 6.698 | 8.541 | 10.559 | 11.683 |
|                 |    | ±0.006 | 0.028 | 0.162 | 0.143 | 0.362 | 0.095 | 0.248 | 0.498 | 0.426  | 0.389  |
| 無水物量(mg)        | L  | 339    | 324   | 306   | 314   | 309   | 347   | 332   | 370   | 367    | 386    |
|                 |    | ±8     | 5     | 12    | 23    | 4     | 24    | 20    | 18    | 22     | 21     |
|                 | D  | 336    | 335   | 285   | 309   | 285   | 321   | 329   | 324   | 285    | 314    |
|                 |    | ±2     | 6     | 17    | 8     | 11    | 10    | 14    | 24    | 16     | 18     |
| 無水分(%)          | L  | 56.98  | 39.02 | 19.32 | 9.65  | 7.09  | 5.20  | 4.91  | 3.74  | 3.34   | 3.36   |
|                 |    | ±0.03  | 0.30  | 0.57  | 0.36  | 0.14  | 0.23  | 0.23  | 0.08  | 0.18   | 0.01   |
|                 | D  | 56.72  | 38.58 | 15.68 | 8.11  | 6.22  | 5.14  | 4.91  | 3.80  | 2.70   | 2.67   |
|                 |    | ±0.43  | 0.63  | 0.38  | 0.18  | 0.39  | 0.09  | 0.27  | 0.02  | 0.05   | 0.08   |
| 灰化物量(mg)        | L  | 15.0   | 18.0  | 24.0  | 33.0  | 33.3  | 52.0  | 55.0  | 76.0  | 84.0   | 89.0   |
|                 |    | ±1.0   | 1.0   | 1.5   | 1.6   | 1.2   | 2.3   | 2.3   | 1.0   | 2.2    | 3.6    |
|                 | D  | 14.3   | 20.3  | 21.3  | 29.0  | 32.0  | 42.0  | 45.0  | 51.7  | 55.7   | 62.0   |
|                 |    | ±0.6   | 1.5   | 1.5   | 1.7   | 1.7   | 1.0   | 2.5   | 2.8   | 2.1    | 2.1    |
| 灰分(%)           | L  | 2.52   | 2.17  | 1.51  | 1.02  | 0.77  | 0.78  | 0.81  | 0.77  | 0.76   | 0.77   |
|                 |    | ±0.12  | 0.17  | 0.12  | 0.07  | 0.03  | 0.03  | 0.02  | 0.02  | 0.02   | 0.01   |
|                 | D  | 2.42   | 2.30  | 1.81  | 0.76  | 0.70  | 0.67  | 0.67  | 0.60  | 0.53   | 0.53   |
|                 |    | ±0.07  | 0.17  | 0.11  | 0.02  | 0.05  | 0.01  | 0.02  | 0.02  | 0.01   | 0.02   |
| 灰化物量<br>無水物量(%) | L  | 4.42   | 5.56  | 7.86  | 10.52 | 10.80 | 15.02 | 16.56 | 20.54 | 22.90  | 23.09  |
|                 |    | ±0.20  | 0.40  | 0.24  | 0.16  | 0.28  | 1.21  | 1.07  | 0.74  | 0.78   | 0.34   |
|                 | D  | 4.26   | 6.08  | 7.50  | 9.39  | 11.24 | 13.10 | 13.68 | 15.90 | 19.54  | 19.74  |
|                 |    | ±0.16  | 0.56  | 0.32  | 0.22  | 0.42  | 0.15  | 0.77  | 0.49  | 0.64   | 0.21   |

n = 3 平均値 ± S.D

表3 無水物量と灰化物量の明栽培と暗栽培の比

| 項目  | 日数   | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| L/D | 無水物量 | 1.01 | 0.97 | 1.07 | 1.02 | 1.08 | 1.08 | 1.01 | 1.14 | 1.29 | 1.23 |
|     | 灰化物量 | 1.05 | 0.89 | 1.13 | 1.14 | 1.04 | 1.24 | 1.22 | 1.47 | 1.51 | 1.44 |

を試料とした。

体重量測定と無水物, 灰化物, KおよびPの分析法は第一報に準じた<sup>2)</sup>。

### 結果・考察

栽培過程における体重量, 無水物量および灰化物量の変化を表2に示した。

体重量は明栽培(以下L)と暗栽培(以下D)に大差は認められなかったが, 茎長はDの方が長く, また黄化していた。

植物にとって一般に光は成長に影響を及ぼすが, 特に茎の伸長に密接な関係がある<sup>4)</sup>。

植物を暗所で栽培すると, 黄化植物ができるが, これ

は細胞の長さが長くなり, したがって茎の伸長に関係してくる。

光による伸長抑制は, 主として赤色光(波長, 約6600 Å)によるものでフィトクロムに依存している<sup>5)</sup>。

また, 明所で栽培すると, 光による茎の伸長抑制に関しては, 光の刺激を受ける部位は解明されていないが, 脱黄化植物の下胚軸の伸長は子葉に光が当たると抑制されるといわれている。この子葉の作用はある種のホルモンが関与していることと考えられている<sup>6)</sup>。

無水物量は2日目からDはLより少なく, また栽培期間中, 栽培開始時の量より減少していた。これに対してLは7日目から増加していった。

灰化物量はL, Dとも増加していったが, 増加量は両者に大差が認められた。

無水物量に占める灰化物量の割合をみると、両者とも上昇していったが、栽培中期からはLの方に高い傾向がみられた。

表3に無水物量と灰化物量のLとDの比を示した。光は茎葉部における光合成作用など光化学反応を通じ

て、根の無機イオン吸収に関係をもたらししている。すなわち、光合成生産物である単糖類や二次生産される多糖類は根に輸送され、無機イオンの吸収に必要なエネルギーおよび受容体を与えていると考えられている<sup>7)</sup>。また光は葉の気孔の開閉を通じて蒸散作用を調節している。

表4 CO<sub>2</sub> 排出量および glucose 消費量 (3時間) (20 個体)

| 日 数               |   | 0            | 1           | 2           | 3            | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           | 9           |
|-------------------|---|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 項 目               | L | 17.8<br>±0.3 | 56.7<br>2.5 | 83.7<br>1.3 | 114.5<br>0.8 | 94.3<br>5.5 | 89.9<br>6.3 | 68.7<br>3.6 | 49.9<br>3.7 | 19.6<br>1.2 | 21.9<br>1.1 |
|                   | D | 17.7<br>±0.1 | 51.2<br>2.3 | 78.4<br>4.5 | 102.5<br>0.7 | 89.4<br>6.2 | 98.2<br>5.2 | 96.8<br>3.7 | 93.6<br>2.6 | 53.3<br>1.1 | 57.3<br>1.0 |
| glucose<br>(μmol) | L | 3.0<br>±0.1  | 9.5<br>0.5  | 14.0<br>0.3 | 19.1<br>0.2  | 15.7<br>1.0 | 15.0<br>1.2 | 11.5<br>0.7 | 8.3<br>0.7  | 3.3<br>0.2  | 3.7<br>0.2  |
|                   | D | 3.0<br>±0.0  | 8.5<br>0.5  | 13.1<br>0.9 | 17.1<br>0.1  | 14.9<br>1.2 | 16.4<br>1.0 | 16.1<br>0.7 | 15.6<br>0.5 | 8.9<br>0.2  | 9.6<br>0.2  |

n = 3 平均値 ± S. D

表5 体重量 1g 当りの平均 CO<sub>2</sub> 排出量 (μmol)

| 日 数 |   | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8   | 9   |
|-----|---|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| 項 目 | L | 29.9 | 68.2 | 52.6 | 35.1 | 21.7 | 13.5 | 10.1 | 5.0  | 1.8 | 1.9 |
|     | D | 29.9 | 59.0 | 42.8 | 26.9 | 19.5 | 15.7 | 14.5 | 11.0 | 5.1 | 4.9 |

表6 KおよびP量の変化

| 日 数              |   | 0               | 1              | 2              | 3              | 4              | 5              | 6              | 7              | 8              | 9              |
|------------------|---|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 項 目              | L | 0.256<br>±0.042 | 0.387<br>0.036 | 0.711<br>0.043 | 1.427<br>0.152 | 2.154<br>0.212 | 2.604<br>0.352 | 3.261<br>0.227 | 2.933<br>0.357 | 2.841<br>0.236 | 3.571<br>0.525 |
|                  | D | 0.318<br>±0.034 | 0.435<br>0.018 | 0.902<br>0.066 | 1.464<br>0.125 | 3.095<br>0.531 | 2.882<br>0.266 | 3.187<br>0.138 | 3.830<br>0.487 | 3.880<br>0.063 | 4.295<br>0.357 |
| K<br>(μmol/10個体) | L | 18.7<br>±2.6    | 25.6<br>1.3    | 32.9<br>3.2    | 69.0<br>4.7    | 102.6<br>9.0   | 107.7<br>16.1  | 127.7<br>13.7  | 136.3<br>21.2  | 138.7<br>23.0  | 162.4<br>33.7  |
|                  | D | 24.6<br>±2.8    | 26.9<br>2.3    | 34.6<br>1.4    | 58.8<br>5.5    | 116.0<br>3.3   | 127.8<br>3.2   | 142.5<br>7.0   | 169.9<br>4.9   | 205.8<br>4.5   | 206.5<br>31.3  |
| K<br>(mmol/100g) | L | 7.4<br>±0.8     | 6.6<br>0.4     | 4.6<br>0.2     | 4.9<br>0.2     | 4.8<br>0.2     | 4.1<br>0.1     | 3.9<br>0.1     | 4.7<br>0.6     | 4.9<br>0.6     | 4.5<br>0.4     |
|                  | D | 7.8<br>±0.8     | 5.9<br>0.3     | 3.8<br>0.1     | 4.0<br>0.1     | 3.8<br>0.6     | 4.5<br>0.3     | 4.5<br>0.1     | 4.5<br>0.6     | 5.3<br>0.1     | 4.8<br>0.3     |
| P<br>(μmol/10個体) | L | 47.1<br>±6.3    | 60.1<br>6.7    | 50.5<br>7.5    | 52.4<br>2.1    | 57.2<br>10.4   | 55.9<br>3.4    | 63.2<br>4.2    | 60.8<br>6.3    | 63.0<br>9.0    | 73.8<br>18.1   |
|                  | D | 57.5<br>±4.5    | 56.9<br>2.4    | 52.0<br>2.2    | 49.8<br>3.3    | 56.3<br>5.9    | 53.3<br>2.5    | 60.9<br>2.3    | 58.2<br>5.5    | 65.1<br>6.5    | 70.3<br>12.1   |
| P<br>(mmol/100g) | L | 18.5<br>±0.6    | 15.5<br>0.9    | 7.1<br>0.6     | 3.7<br>0.5     | 2.7<br>0.4     | 2.2<br>0.2     | 1.9<br>0.0     | 2.1<br>0.1     | 2.2<br>0.2     | 2.0<br>0.2     |
|                  | D | 18.1<br>±1.0    | 12.5<br>0.2    | 5.8<br>0.6     | 3.4<br>0.2     | 1.8<br>0.2     | 1.9<br>0.1     | 1.9<br>0.1     | 1.5<br>0.2     | 1.7<br>0.2     | 1.6<br>0.2     |

n = 3 平均値 ± S. D

材料種子 (除種皮) のKおよびP量

|                 |                 |                  |               |              |              |                  |               |                  |               |
|-----------------|-----------------|------------------|---------------|--------------|--------------|------------------|---------------|------------------|---------------|
| 体重量<br>(g/10個体) | 0.203<br>±0.001 | K(μmol/10<br>個体) | 23.8<br>± 3.4 | K(mmol/100g) | 11.7<br>±1.7 | P(μmol/10<br>個体) | 57.2<br>± 5.0 | P(mmol/<br>100g) | 28.1<br>± 2.5 |
|-----------------|-----------------|------------------|---------------|--------------|--------------|------------------|---------------|------------------|---------------|

n = 3 平均値 ± S. D

このことからイオン吸収に影響を及ぼしている<sup>9)</sup>。

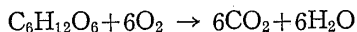
光と無機イオン吸収については、水稻根でおこなった実験で、照度の低下によって吸収量が減少する報告もある<sup>9)</sup>。

毎試料採取時から3時間におけるCO<sub>2</sub>排出量変化を表4に示した。

L、Dとも3日目が最大量を示していた。

LとDを比較すると4日目まではL>Dとなっていたが5日目からはD>Lとなり、その差は大きく開いていた。D>Lとなった原因としては、LはCO<sub>2</sub>測定中は密封されていても光合成をおこない、自己の排出したCO<sub>2</sub>を利用しているの見かけのCO<sub>2</sub>量である。したがってDは光合成ができないのでCO<sub>2</sub>量が多く測定されたのではないかと推考している。

呼吸に関する反応式



から見かけの消費糖質を glucose として試算した。

このようにみると、Lは灰化物量が多く、見かけの glucose 消費量が少なかったことは無水物量が多かったことと一致している。

CO<sub>2</sub>排出量を体重量 1g 当りでみると(表5)、栽培開始時では同量であったが、1日目が最も多く、両者とも徐々に減少していった。

これは、発芽時期には非常に多くのエネルギーを必要とするためである<sup>10)</sup>。

次に栽培期間中におけるKとPの含量変化について述べる。

表6をみると、K量はL・Dとも1日目から成長にもなって増加していったが、Dの方が多かった。

これは、Kが1価のイオンとして、水吸収にともなって吸収されやすい。したがってDの方が含水量が多かっ

た(無水物量が少なかった)ことに原因があると思われる<sup>11)</sup>。

P量はL・Dとも6日目から増加の傾向にあった。

Pは高エネルギーリン酸として呼吸に関係してくる。

P量の不規則性は吸収と、呼吸のための消費および流出などの兼ね合いから生じた現象であると考えられる<sup>12)</sup>。

また、両者とも3日目からはP量よりK量の方が多く数倍に達している。KとPの吸収に関してはKの方が速度が数倍高いという報告もある<sup>13)</sup>。

表7に材料種子を基としたKとP量の増減量(吸収量と溶出量)を示した。

また、表8にKとP量のL/D値を示した。

## 要 約

大阪四十日ダイコン種子を完全栽培液で明所栽培と暗所栽培を9日間おこなった。その間24時間ごとに試料を20個体ずつ3点採取してCO<sub>2</sub>排出量を測定した後無水物、灰化物を測定した。また、別に同一栽培液で上記同様に栽培し、10個体ずつ3点採取してKおよびPの測定をおこなった結果、明所栽培(L)と暗所栽培(D)の測定値を比較すると

1. 体重量は差なく増加していった。
2. 無水物量は2日目からはLの方が多かった。またDは栽培期間中、栽培開始時より少なかった。Lは7日目から増加していった。
3. 灰化物量はL・Dとも増加していったが、Lの方が増加量が数倍多かった。
4. 無水物量に占める灰化物量の割合は、L・Dとも上昇していったが栽培中期からはLの方が高くなった。
5. 24時間ごとの3時間に排出されたCO<sub>2</sub>量は、L・

表7 栽培過程における材料種子を基としたKおよびP量の増減

| 項目      | 日数 | 0     | 1    | 2     | 3     | 4     | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      |
|---------|----|-------|------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| K(μmol) | L  | -5.1  | +1.8 | +9.1  | +45.2 | +78.8 | +83.9  | +103.9 | +112.5 | +114.9 | +138.6 |
|         | D  | +0.8  | +3.1 | +10.8 | +35.0 | +92.2 | +104.0 | +118.7 | +146.1 | +182.0 | +182.7 |
| P(μmol) | L  | -10.1 | +2.9 | -6.7  | -4.8  | ±0    | -1.3   | +6.0   | +3.6   | +5.8   | +16.6  |
|         | D  | +0.3  | -0.3 | -5.2  | -7.4  | -0.9  | -3.4   | +3.7   | +1.0   | +7.9   | +13.1  |

表8 KおよびP量の明栽培と暗栽培の比

| 項目   | 日数 | 0    | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
|--|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| L/D(μmol/μmol)                                 | K  | 0.76 | 0.95 | 0.95 | 1.18 | 0.88 | 0.84 | 0.89 | 0.80 | 0.67 | 0.79 |
|  | P  | 0.82 | 1.06 | 0.97 | 1.05 | 1.01 | 1.05 | 1.04 | 1.05 | 0.97 | 1.05 |
| L/D( $\frac{mmol}{100g} / \frac{mmol}{100g}$ ) | K  | 0.95 | 1.12 | 1.20 | 1.21 | 1.25 | 0.93 | 1.45 | 1.04 | 0.92 | 0.95 |
|  | P  | 1.02 | 1.24 | 1.22 | 1.09 | 1.44 | 1.17 | 1.01 | 1.36 | 1.32 | 1.25 |

Dとも3日目が最も多く、徐々に減少していった。しかしDの方が多かった。

試料 1g 当りで見ると栽培開始時は同量であったが、1日目が最も多く、徐々に減少していった。

6. K量はL・Dとも1日目から増加していったが、Dの方が増加量が多かった。

7. P量はL・Dとも6日目から増加の傾向にあったが、栽培期間全体としては不規則な増減であった。

## 文 献

- 1) 田口亮平, 田崎忠良: 実験植物生理生態学実習, 養賢堂, p. 31~32 (1983)
- 2) 舟木行雄ら: 駒沢女子短期大学研究紀要, 17, 15 (1984)
- 3) 田口亮平, 田崎忠良: 実験植物生理生態学実習, 養賢堂, p. 91~92 (1983)
- 4) Mohr, H.: Ann, Rev, Plant Physiol., 13. 465

(1962)

- 5) 山本興太郎: 植物生理学, 朝倉書店 8, p. 4~17 (1981)
- 6) Black, M. & Shuttleworth, J.: In Light and Plant Development, ed. H. Smith., p. 317, Butterworths, London (1976)
- 7) Bowling, D. J. F.: J. Exp. Bot., 19, 381 (1968)
- 8) 平田 熙ら: 植物生理学, 朝倉書店, 5, p. 153 (1981)
- 9) 高橋治助ら: 農技研報告, B. 4 (1955)
- 10) 田口亮平: 植物生理学大要, 養賢堂, p. 54~55 (1983)
- 11) 舟木行雄: 駒沢女子短期大学研究紀要, 9, p. 6 (1975)
- 12) 舟木行雄: 駒沢女子短期大学研究紀要, 10, p. 9 14 (1976)
- 13) 平田 熙ら: カリシンポジウム, 養賢堂 (1969)