

ナス科果菜の比較生理学的研究 (第2報)

頂芽部のホルモンレベル, 体内成分並びに光合成機能に及ぼす温度の影響

鐘 鈴鋒・加藤 徹・許 秀萍・福元康文

(農学部蔬菜園芸学研究室)

Comparative Studies on the Physiological Characteristics in Solanaceous Fruit Vegetables

(2). Effects of Temperature on Hormone Level in Shoot Apices, Chemical Constituents and Photosynthetic Function.

Lingfeng ZHONG, Toru KATO, Xiuping XU and Yasufumi FUKUMOTO

Laboratory of Vegetable Crop Science, Faculty of Agriculture

Abstract: The influences of various temperatures (Day/night, 20/15, 25/20, 35/25°C) on the growth and endogenous hormones of shoot apices in tomato (cv. Fukuzyu No. 2), eggplant (cv. Hayabusa) and sweet pepper (cv. Shinsakigakemidori) grown in 12 cm pots were studied.

1. Dry weight in each vegetable increased with increasing day/night temperatures, especially in sweet pepper.

2. Plants grown under 25/20°C contained higher soluble nitrogen, insoluble nitrogen, total nitrogen, soluble sugar and starch contents in top than those grown under 20/15°C and 35/25°C.

3. Tomato plants showed higher photosynthetic rate, cytokinin (CK), gibberellin-like substances (GAs) and indoleacetic acid (IAA) levels and lower abscisic acid (ABA) level in shoot apices than eggplant and sweet pepper. Lower temperature decreased photosynthetic rate, CK, GAs and IAA levels, and conversely increased ABA level in shoot apices, especially in sweet pepper.

4. Higher temperature increased the distribution percentage of dry matter to stem with enhanced GAs/CK and GAs/ABA ratios in shoot apices. Tomato plants showed higher GAs/CK and GAs/ABA ratios than the other vegetables, corresponded with higher distribution percentage of dry matter to stem.

5. It may be concluded that the partitioning of dry matter to stem is regulated by GAs/CK and GAs/ABA ratios in shoot apices.

緒 言

前報¹⁾において頂芽部のホルモンレベル, 体内成分並びに光合成機能に及ぼす日照の強さの影響について検討し, 日照の低下に伴って光合成, 蒸散, クロロフィル含量, サイトカイニン, オーキシン及びアブシジン酸含量が低下し, 逆に可溶性窒素とジベレリン含量が増加し, とくにトマトでは著しいことを明らかにした。またトマトはナスとピーマンに比べて茎への乾物分配が著しく多い

のは頂芽部の高いジベレリンとサイトカイニンあるいはアブシジン酸比と密接に関係していることを明らかにした。本研究では、ナス科果菜の頂芽部のホルモンレベル、体内成分並びに光合成機能に及ぼす温度の影響について調査した。

材料及び方法

トマト‘福寿2号’、ナス‘はやぶさ’、ピーマン‘新さきがけみどり’を1988年5月10日に播種し、子葉展開後の5月28日に育苗用12cmポットに鉢上げして栽培した。床土として土とバークは等量で作成し、窒素(硫酸)、リン(過磷酸石灰)、カリ(硫酸カリ)各3 kg/a、苦土石灰12kg/aを施肥した。20/15°C(低温区)(昼温/夜温、昼間は朝7時から夕方7時まで、夜間は午後7時から翌朝7時まで)、25/20°C(中温区)と35/25°C(高温区)の3処理区を設けて、処理区当り20ポットとし、7月1日までファイトロンで栽培した。かん水は適宜行い、各処理区とも適湿になるように配慮した。

実験終了直前に最大葉の蒸散及び光合成速度を携帯用光合成蒸散測定装置によって測定した。その後最大葉を採取して80%アセトンで抽出し、分光光度計で葉のクロロフィル含量を測定した。

さらに各果菜の頂芽部を採取し、体内のホルモン分析に供した後、株を掘りあげ、葉、茎と根に分け、葉については自動葉面積計で葉面積を測定するとともに80°Cで乾燥後各部位の乾物重を測定した。葉と茎を混合して粉碎し、地上部の体内成分の分析に供した。

窒素化合物と炭水化物の分析は前報¹⁾と同じように窒素をセミマイクロケルダール法²⁾によって、炭水化物をソモギー法³⁾で測定した。

頂芽部の内生ホルモンの分析方法：採取したばかりの頂芽をただちに80%メタノールで低温条件下でホモゲナイズし、前報¹⁾と同様にサイトカイニンをブタノールで分画抽出し、高速液体クロマトグラフィー(HPLC)で測定した。ジベレリン、オーキシシン及びアブシジン酸を酢酸エチルで分画抽出し、オーキシシン及びアブシジン酸をHPLCによって、ジベレリンをレタス生物検定法によってそれぞれ測定した。ジベレリン含量はGA₃当量で示した。

結 果

1. 生育に及ぼす影響 Table 1に示すように、トマトは生育が著しく早く、ナスとピーマンに

Table 1. Influence of temperature on the growth in solanaceous fruit vegetables

| Crop | Day/night temperature | Leaves | Stems | Roots | Total | Plant height (cm) |
|--------------|-----------------------|--------|-------|-------|--------------|-------------------|
| | | | | | | |
| Tomato | 20/15 °C | 1.82 | 1.43 | 0.52 | 3.77 (69.4)* | 18.86 |
| | 25/20 °C | 2.45 | 2.31 | 0.67 | 5.43 (100.0) | 31.10 |
| | 35/25 °C | 2.40 | 3.11 | 0.57 | 6.08 (112.0) | 36.90 |
| Eggplant | 20/15 °C | 0.73 | 0.34 | 0.27 | 1.34 (45.0) | 9.10 |
| | 25/20 °C | 1.54 | 0.88 | 0.56 | 2.98 (100.0) | 14.16 |
| | 35/25 °C | 1.68 | 1.32 | 0.54 | 3.54 (118.8) | 21.64 |
| Sweet pepper | 20/15 °C | 0.35 | 0.15 | 0.13 | 0.63 (36.6) | 8.54 |
| | 25/20 °C | 0.88 | 0.57 | 0.27 | 1.72 (100.0) | 19.40 |
| | 35/25 °C | 1.10 | 0.95 | 0.33 | 2.38 (138.4) | 25.70 |

*Relative growth rate, compared with 25/20 °C treatment.

比べて乾物重が多かった。各果菜とも昼夜の温度が高いほど生育が促進された。

乾物分配率について見ると、Table 2 に示すとおりである。トマトはナスとピーマンに比べて乾

Table 2. Influence of temperature on the partitioning percentage of dry matter and T/R (top: root) ratio in solanaceous fruit vegetables

| Crop | Day/night temperature | Leaves | Stems (%) | Roots | T/R ratio |
|--------------|-----------------------|--------|-----------|-------|-----------|
| Tomato | 20/15 °C | 48.28 | 37.93 | 13.79 | 6.25 |
| | 25/20 °C | 45.12 | 42.54 | 12.34 | 7.10 |
| | 35/25 °C | 39.47 | 51.15 | 9.38 | 9.67 |
| Eggplant | 20/15 °C | 54.48 | 25.37 | 20.15 | 3.96 |
| | 25/20 °C | 51.68 | 29.53 | 18.79 | 4.32 |
| | 35/25 °C | 47.46 | 37.29 | 15.25 | 5.56 |
| Sweet pepper | 20/15 °C | 55.56 | 23.81 | 20.63 | 3.85 |
| | 25/20 °C | 51.16 | 33.14 | 15.70 | 5.37 |
| | 35/25 °C | 46.22 | 39.91 | 13.87 | 6.21 |

物分配が茎に傾き、逆に根に少ない傾向が見られた。その結果、T/R率(地上部/根の比率)はトマトでは著しく高かった。昼夜の温度の高まりに伴って各果菜とも茎への分配が著しく増加し、T/R率は高められた。とくに、トマトではより著しかった。

2. 葉面積, クロロフィル含量, 蒸散速度及び光合成速度に及ぼす影響 Table 3 に示すように、

Table 3. Influence of temperature on the leaf area, chlorophyll content and photosynthetic rate in solanaceous fruit vegetables

| Crop | Day/night temperature | Leaf area (cm ²) | Chlorophyll content (mg/dm ²) | Transpiration rate (g/hr. dm ²) | Photosynthetic rate (CO ₂ mg/hr. dm ²) |
|--------------|-----------------------|------------------------------|---|---|---|
| Tomato | 20/15 °C | 386.71 | 3.42 | 2.23 | 18.83 |
| | 25/20 °C | 708.04 | 3.21 | 2.46 | 24.06 |
| | 35/25 °C | 745.16 | 2.73 | 2.65 | 21.33 |
| Eggplant | 20/15 °C | 215.14 | 3.65 | 2.01 | 15.43 |
| | 25/20 °C | 438.02 | 3.10 | 2.58 | 22.70 |
| | 35/25 °C | 475.60 | 2.98 | 2.82 | 20.20 |
| Sweet pepper | 20/15 °C | 104.64 | 3.85 | 2.02 | 12.13 |
| | 25/20 °C | 250.28 | 3.25 | 2.86 | 18.25 |
| | 35/25 °C | 305.46 | 3.12 | 3.13 | 17.21 |

トマトは光合成速度がナスとピーマンよりも著しく速かった。各果菜とも昼夜の温度が高いほど葉面積及び蒸散速度が増加したが、クロロフィル含量は逆の傾向を示した。光合成速度が中温区で最も速く、低温あるいは高温区で低下した。低温区でピーマン、高温区ではトマトの光合成速度の低下がそれぞれ他果菜よりも多かった。

3. 体内成分に及ぼす影響 Table 4に見られるように、各果菜とも地上部の不溶性窒素、可溶

Table 4. Influence of temperature on the nitrogenous compounds, soluble sugar and starch contents of top in solanaceous fruit vegetables

| Crop | Day/night temperature | Soluble N | Insoluble N | | Total N | Soluble sugar | Starch |
|--------------|-----------------------|-----------|----------------------|------|---------|---------------|--------|
| | | | (% Dry weight basis) | | | | |
| Tomato | 20/15 °C | 0.67 | 1.56 | 2.23 | 2.85 | 2.47 | |
| | 25/20 °C | 1.11 | 2.22 | 3.33 | 3.92 | 3.42 | |
| | 35/25 °C | 0.99 | 1.88 | 2.87 | 3.32 | 2.89 | |
| Eggplant | 20/15 °C | 0.55 | 1.55 | 2.10 | 3.01 | 2.92 | |
| | 25/20 °C | 1.12 | 2.30 | 3.42 | 5.01 | 3.97 | |
| | 35/25 °C | 1.06 | 2.15 | 3.21 | 4.21 | 3.44 | |
| Sweet pepper | 20/15 °C | 0.82 | 1.62 | 2.44 | 2.12 | 2.01 | |
| | 25/20 °C | 1.42 | 2.54 | 3.96 | 3.01 | 3.16 | |
| | 35/25 °C | 1.33 | 2.24 | 3.57 | 2.74 | 2.89 | |

性糖分、全窒素、可溶性糖分並びに澱粉含量が中温区で高く、低温あるいは高温で減少した。低温区ではピーマンはそれらの成分低下が著しく、逆に高温区ではトマトの成分含量の低下がより顕著であった。

4. 頂芽部のホルモンレベルに及ぼす影響 Table 5に示すように、頂芽部のサイトカイニン、

Table 5. Influence of temperature on the endogenous hormone levels of shoot apices in solanaceous fruit vegetables

| Crop | Day/night temperature | CK | | GAs | | IAA | | ABA | | GAs/CK* ratio | GAs/ABA* ratio |
|--------------|-----------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|---------------|----------------|
| | | A | B | A | B | A | B | A | B | | |
| Tomato | 20/15 °C | 0.209 | 0.030 | 0.082 | 0.0119 | 1.841 | 0.266 | 0.282 | 0.041 | 0.392 | 0.291 |
| | 25/20 °C | 0.356 | 0.055 | 0.195 | 0.0299 | 2.825 | 0.433 | 0.207 | 0.032 | 0.548 | 0.942 |
| | 35/25 °C | 0.276 | 0.040 | 0.253 | 0.0368 | 2.347 | 0.341 | 0.164 | 0.024 | 0.917 | 1.543 |
| Eggplant | 20/15 °C | 0.138 | 0.024 | 0.038 | 0.0066 | 1.147 | 0.199 | 0.560 | 0.097 | 0.275 | 0.068 |
| | 25/20 °C | 0.186 | 0.032 | 0.065 | 0.0111 | 2.156 | 0.368 | 0.422 | 0.072 | 0.349 | 0.154 |
| | 35/25 °C | 0.160 | 0.027 | 0.102 | 0.0169 | 1.810 | 0.300 | 0.319 | 0.053 | 0.638 | 0.320 |
| Sweet pepper | 20/15 °C | 0.124 | 0.020 | 0.036 | 0.0058 | 0.856 | 0.138 | 0.483 | 0.078 | 0.290 | 0.075 |
| | 25/20 °C | 0.165 | 0.028 | 0.082 | 0.0140 | 1.962 | 0.335 | 0.318 | 0.054 | 0.497 | 0.258 |
| | 35/25 °C | 0.158 | 0.025 | 0.125 | 0.0197 | 1.826 | 0.287 | 0.253 | 0.040 | 0.791 | 0.494 |

CK, cytokinin; GAs, gibberellin-like substances; IAA, indoleacetic acid; ABA, abscisic acid.

A, $\mu\text{g/g}$, fresh weight; B, $\mu\text{g/plant}$.

*, Concentration ($\mu\text{g/g}$, fresh weight) ratio.

ジベレリン並びにオーキシン濃度及び株当りの含量がいずれもトマトで最も高く、次いでナス、ピーマンの順になった。しかし、アブジジン酸について見ると、トマトはナスとピーマンよりも低かつ

た。各果菜とも頂芽部のサイトカイニン及びオーキシン含量が中温区で最も高く、それよりも温度が高くて、また低くても低下したが、低温下ではトマトが著しく低下した。また各果菜とも昼夜の温度が高いほどアブシジン酸含量が低下したが、ジベレリン含量が増加し、とくにトマトでは顕著であった。ジベレリン/サイトカイニンあるいはアブシジン酸比がトマトではナスとピーマンに比べて高く、昼夜の温度の高まりによって一層高くなった。

考 察

1. 温度と光合成及び生育との関係 本実験では各果菜とも温度が高いほど生育が著しく促進された(Table 1)。ほぼ同様なことが齋藤⁴⁾によって報告されている。中温区と比較して、低温区ではトマトは生育の低下が最も少なく、次いでナス、ピーマンの順であったが、高温になると逆にピーマンとナスは生育の促進程度がトマトより著しかった。これはトマトは耐低温性があり、逆にナスとピーマンの生育適温がトマトよりも高いことを示していると思われる⁵⁾。

各果菜の生育量は葉面積と光合成速度にほぼ対応する傾向が見られた(Table 1, 3)。すなわち生育の早いトマトでは葉面積が大きく、光合成速度が速く、逆に生育の遅いピーマンでは葉面積が小さく、光合成速度が遅かった。これは前報¹⁾の結果と一致している。温度の影響を見ると、各果菜とも高温区では光合成速度が中温区に比べて低かったが、葉面積が大きいために光合成産物が多く、生育の促進につながったものと思われる。とくにピーマンでは光合成速度の低下が少なく、しかも葉面積の拡大が著しいので、生育がより顕著に促進されたものと考えられる。光合成適温はトマト25—26°C、ナス29—30°C、ピーマン30—32°Cといわれていることから⁵⁾、耐高温性もそれに対応しているように思われる。一方低温区で光合成速度と葉面積の低下がピーマンで著しく、逆にトマトが少なく、生育量の低下度合と一致している。トマトはナスとピーマンに比べて耐低温性があるのは低温下での光合成速度に対する影響が比較的少ないことと関係しているように思われる。

位田⁶⁾は温度の低下に伴って硝酸態窒素の吸収が著しく低下することを報告している。本実験において、低温下で体内の窒素化合物含量が低い傾向が見られた。また齋藤ら⁷⁾はトマトについて24/17°C区では30/24°C区よりも全窒素、可溶性糖分及び澱粉含量が高いことを示しており、本実験の結果とほぼ一致している。高温下での体内の炭水化物含量の低下は光合成速度の低下と関係しているように思われる。

高温区ほど葉のクロロフィル含量が低くなる傾向が見られた。これは低温下で葉の拡大が遅く、肉厚の葉であるためと考えられた。また高温区ほど蒸散速度が速くなり、光合成速度と対応した関係は見られなかったことから、高温下では蒸散速度の外の要因が光合成作用に強く影響を及ぼすことが示唆される。

2. 温度と内生ホルモンとの関係 本実験においてトマトは生育促進物質としてのサイトカイニン、ジベレリン及びオーキシン含量がナスとピーマンに比べて高く、逆に生育抑制物質としてのアブシジン酸含量が低い傾向が見られた(Table 5)。トマトはナスとピーマンに比べて生育が著しく早いのは体内の生育促進物質が多く、生育抑制物質が少ないことと関係があるように思われる。これは前報¹⁾の結果と一致している。

温度の影響を見ると、各果菜ともサイトカイニンとオーキシン含量が中温区で高く、低温あるいは高温によって低下した。これは低温あるいは高温下でサイトカイニンとオーキシンの生合成が阻害された結果と思われる。またアブシジン酸含量が温度が低いほど増加し、ジベレリン含量は逆の傾向を示した。温度の低下でジベレリン含量が低下し、逆に抑制物質あるいはアブシジン酸含量が増加することは多くの研究者^{8,9,10)}によって認められており、本実験の結果と一致している。低温下でジベ

レリンの生合成が阻害され、逆にアブシジン酸の生合成が促進されるものと考えられる。これらの結果から、低温下での生育の抑制はサイトカイニン、ジベレリン及びオーキシン含量の低下及びアブシジン酸含量の増加と関係しているように思われる。逆に、高温下でアブシジン酸の生産が抑制され、ジベレリンの生産が促進されたので、生育の促進につながるものと考えられる。

各果菜とも光合成速度が速く、体内の炭水化物含量の多い25/20°C区ではサイトカイニンとオーキシン含量が高い傾向が見られた。またジベレリン様物質含量の多い場合に体内の不溶性窒素と炭水化物含量が少ないことが前報¹⁾において報告され、本実験でもほぼ同様な結果が得られた。しかし、アブシジン酸と光合成あるいは体内炭水化物含量との間には明らかな関係が見られなく、アブシジン酸の含量は温度に強く影響されているように思われる。

3. 体内のホルモンと乾物分配との関係 本実験ではジベレリン様物質が頂芽部に多く、逆にサイトカイニンとアブシジン酸が少なすぎると、茎への乾物分配が著しく増加する傾向が見られた。ジベレリン/サイトカイニンあるいはアブシジン酸比と茎への乾物分配との関係を見ると (Table 2, 5), 茎の乾物分配率の高いトマトではジベレリン/サイトカイニンあるいはアブシジン酸比が高く、逆に茎の乾物分配率の低いナスとピーマンでは低かった。また温度の高まりに伴う茎の乾物分配率の増加はジベレリン/サイトカイニンあるいはアブシジン酸比の高まりと一致している。すなわち茎への乾物分配が体内のジベレリンとサイトカイニンあるいはアブシジン酸のバランスに強く左右されていた。これは前報¹⁾の結果と一致している。

以上より、温度に対する各果菜の生理生態的反応の差異は光合成適温の違いに影響されているように思われる。またトマトはナスとピーマンに比べて茎への乾物分配が多いのは体内のジベレリンとサイトカイニンあるいはアブシジン酸のバランスにも起因することが考えられる。

要 約

低温区 (昼温20/夜温15°C)、中温区 (25/20°C) と高温区 (35/25°C) の異なる温度条件下でトマト '福寿2号'、ナス、'はやぶさ'及びピーマン '新さきがけみどり' をそれぞれポットで栽培し、生育と光合成、体内成分並びに頂芽部のホルモンレベルとどう関係しているかについて比較検討した。

1. トマトはナスとピーマンに比べて乾物重が多く、光合成能力にほぼ対応していた。各果菜とも温度が高いほど生育が著しく促進された。低温区ではトマトは生育の低下が最も少なく、逆に高温区でピーマンとナスは生育の促進程度がトマトより著しかった。高温区ほど茎への乾物分配率とT/R率が高くなり、とくにトマトではより顕著であった。

2. 各果菜とも温度が高いほど葉面積が増加したが、クロロフィル含量と光合成速度は25/20°C区で高く、蒸散速度は温度が高いほど速くなった。

3. 各果菜とも地上部の不溶性窒素、可溶性糖分、全窒素、可溶性糖分並びに澱粉含量が中温区で高く、低高温で減少した。

4. トマトはサイトカイニン、ジベレリン及びオーキシン含量がナスとピーマンに比べて高く、逆にアブシジン酸含量が低かった。各果菜とも中温区ではサイトカイニン及びオーキシン含量が高かった。アブシジン酸含量が低温区で高く、逆にジベレリン含量が高温区で高かった。

5. トマトでは頂芽部のジベレリン/サイトカイニンあるいはアブシジン酸比がナスとピーマンに比べて高かった。

文 献

- 1) 鐘 鈴鋒・加藤 徹：ナス科果菜の比較生理学的研究 (第1報) 頂芽部のホルモンレベル, 体内成分並びに光合成機能に及ぼす日照の強さの影響. 高大農システム園実研報, 5, 55—66 (1988).
- 2) 戸蒔義次・杉尾孝嶺・畑村又好・山田 登・原田登五郎・鈴木直治 (編): 作物試験法. p. 279—283, 農業技術協会, 東京 (1979).
- 3) 作物分析委員会 (編): 栽培植物分析測定法. p. 277—293, 養賢堂, 東京 (1975).
- 4) 斉藤 隆: ナスの開花・結実に関する研究 (第3報) 苗の生育ならびに花芽形成に対する温度の影響. 生物環境調節, 13, 15—22 (1975).
- 5) 藤井健雄: 蔬菜の栽培技術. p. 45—54, 誠文堂新光社, 東京 (1976).
- 6) 位田藤久太郎: 根の生理と土壤管理. 野菜の栄養生理と施肥技術 (杉山直儀編). p. 30—40, 誠文堂新光社, 東京 (1968).
- 7) 斉藤 隆・伊東秀夫: トマトの生育ならびに開花・結実に関する研究 (第1報) 育苗期の温度が生育ならびに開花・結実に及ぼす影響. 園学雑, 31, 303—314 (1962).
- 8) ATKIN, R. K., BARTON, G. E. and ROBINSON, D. K.: Effect of root-growing temperature on growth substances in xylem exudates of *Zea mays*. *J. Exp. Bot.*, 24, 475—487 (1973).
- 9) 長田明夫: 生育時期及び生育条件による水稻の内生ジベレリンの変化. 日作記, 42, 41—45 (1973).
- 10) 高橋 清: 環境条件による水稻内生ホルモンの変化 (予報). 日作記, 44, 177—178 (1975).

(平成元年9月29日受理)

(平成元年12月27日発行)

