

イチゴ‘女峰’花粉稔性の変化と日射量，気温並びに体内炭水化物，無機養分濃度との関係

吉 田 裕 一・谷 本 圭一郎^{a)}

(作物機能調節学講座)

Changes in Pollen Fertility of ‘Nyoho’ Strawberry in Relation to Light Intensity, Temperature and Leaf Carbohydrate and Mineral Concentration

Yuichi Yoshida and Keiichiro Tanimoto^{a)}

(Department of Eco-physiology for Crop production)

Changes in pollen fertility in forcing strawberry cv. Nyoho (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) were investigated to clarify the factors affecting fruit malformation caused by poor fertilization which occurs with plant dwarfing and yield decrease in February to March. Pollen were sampled from 15 greenhouses of strawberry growers, and relationships between pollen germination and climatic factors, mineral and carbohydrate concentration in leaves were analyzed. Pollen fertility decreased in January and February with decrease in light intensity and outside air temperature, and increase in fruit load. It was suggested that the occurrence of fruit malformation may be mainly caused by the decrease in pollen fertility. There were highly significant relationships between the pollen fertility and light intensity in 1 to 3 days before anthesis, minimum outside air temperature on the day of anthesis, and carbohydrates, P, K and Ca concentration in the leaves. No constant relationship could be found between pollen fertility and leaf N concentration. Pollen fertility at the beginning of harvest for second inflorescence (January) was improved with CO₂ enrichment. These results indicate that the poor pollen development may result from the shortage of photosynthate caused by low light and fruit load.

Key words : *Fragaria* × *ananassa* Duch., pollen, light energy, nitrogen nutrition, CO₂ enrichment

緒 言

イチゴの促成栽培においては，以前から2月下旬以降の“成り疲れ”による収量の低下が生産上の大きな課題とされている．‘宝交早生’が主力品種であった1980年代前半までは，半促成栽培によってこの時期の生産量が確保されていた．しかし，‘女峰’，‘とよのか’の栽培面積の増加に伴って半促成栽培が減少し，全国的にこの時期の出荷量が低下する傾向にある．“成り疲れ”の原因としては，冬季の低温並びに日射量の低下による光合成産物の減少と過重な着果

負担による草勢の低下が指摘されている¹⁾．

イチゴ‘女峰’は早生・多収性で収益性が高く，1985年に発表されて以来，‘宝交早生’に替わる品種として関東東海地方を中心に広く栽培されている²⁾．関西以西では‘とよのか’と比較して栽培面積が小さいが，香川県では約50haに栽培されており，関西市場の業務用果実の主産地となっている(香川県青果連)．香

Received October 1, 1998

a) 香川大学農学部

(Faculty of Agriculture, Kagawa University)

川県下の産地では、“成り疲れ”による収量低下とともに1～2月に開花する第3果房に受精不良が原因と考えられる奇形果が多発する傾向にある。その結果、総出荷量の低下と同時に整形果の比率が大きく減少するため、雛祭り需要が増加する2月下旬以降、業務用イチゴの価格が高騰する場合が多い。業務用のイチゴは、整形果を安定的に供給することが卸売業者、加工業者から強く求められており、特に相対取引における価格形成に際しては、シーズンを通じての安定供給の可否が重要な要因となっている。収量の確保ばかりでなく、安定供給体制を確立し、収益性を高めるためにも、この時期の奇形果発生を抑制することが求められている。

イチゴの花粉稔性は、日照不足、窒素過多によって低下することが指摘されており^{7,9,11)}、‘女峰’は育成当初から厳寒期の花粉稔性の低下が指摘されている²⁾。この花粉稔性の低下が奇形果発生の大きな原因のひとつと考えられるが、その実態については明らかではない。イチゴのトンネル、ハウス栽培が急速に普及した1960年代には、受精不良による奇形果が多発したため、この問題との関連でイチゴの花粉稔性について‘宝交早生’を中心に検討された。しかし、花粉媒介昆虫としてミツバチが利用されるようになり¹⁾、一応の解決を見たため、その後花粉稔性についての検討はほとんどなされていない。そこで、JA 三木町管内の‘女峰’生産者の栽培ハウスにおける花粉発芽率の季節的な変動を調査し、その変動の要因を明らかにするため、開花前の気象条件および葉中炭水化物濃度、無機養分濃度との関係について解析した。

材料および方法

栽培ハウスでの調査に先立って、1994年5月にTable 1に示した培地を標準として、ホウ酸の適正濃度について調査した。培養温度は25℃とし、予備実験の結果、置床3時間後と4時間後で発芽率にほとんど差がみられなかったことから、置床4時間後に顕微鏡下で発芽率を調査した。花粉直径の1/2以上の長さに花粉管が伸長した花粉を発芽花粉として、1試料について5視野ずつ（それぞれ50粒以上の花粉を含む）観察し、その平均値を用いた。

JA 三木町管内の‘女峰’栽培ハウスの中から、栽培方法、定植時期、苗質、施肥量等が異なる12戸の生産者のハウス15棟を選定した。1994年10月から95

年5月にかけて、開花1、2日前に袋掛けをした花から開花当日の午前中に適宜花粉を採取し、上記の培地で25℃、4時間培養後の発芽率を調査した。花粉採取時に新生第3～4葉を採取し、80℃で48時間乾燥後、葉身中の可溶性糖類、デンプン、無機養分並びに葉柄中硝酸態窒素の分析を行った。葉身中の可溶性糖類はラフィノースを内部標準物質として80%熱エタノール抽出後HPLCで、デンプンは糖抽出残渣から過塩素酸抽出後アントロン硫酸法で、無機養分および葉柄中硝酸態窒素については既報⁵⁾と同様に行った。気象条件と花粉発芽率の関係の解析に当たっては、高松地方気象台の計測値（香川県気象月報）を用いた。

また、香川大学農学部内で NFT 栽培した‘女峰’を用い、明期のCO₂濃度が200～400ppmで推移したCO₂無施用区を対照として800～900ppmのCO₂施用が花粉の発芽率に及ぼす影響について調査した。その他の栽培条件は既報⁵⁾とほぼ同様であった。

結 果

Fig. 1に示したように、ホウ酸添加によって発芽率は著しく高くなった。しかし、50mg/L以上ではほとんど差が認められなかったことから、以後の実験では100mg/Lとした。他の無機塩類については、いずれを除去した場合も若干発芽率が低下する傾向にあったが、処理区間に有意な差は認められなかった（データ省略）。

Fig. 2に全調査ハウスの花粉発芽率の季節的な変動を示した。いずれの時期においても同日に採取したハウス間にはかなりの差が認められたが、10月から11月下旬は平均約36%と比較的高かった。日射量と気温が低下し、腋花房の着果負担も大きくなる12月下旬から低下し始めた。特に2月は大半の農家で調

Table 1 Composition of culture medium for pollen germination.

Component	Concentration
H ₃ BO ₃	100mg/L
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	300mg/L
MgSO ₄ ·7H ₂ O	200mg/L
KNO ₃	100mg/L
Sucrose	100 g/L
Ager	10 g/L

査期間中最も低く、平均約13%であった。しかし、3月以降気温、日射量の上昇とともに発芽率が上昇し、5月にはほとんどのハウスで30%以上となった。

花粉発芽率と葉中無機養分との関係を Fig. 3 および Table 2 に示した。11月から5月までの全調査結果をまとめて解析した場合、葉身中リン、カリウムでは負の、カルシウムでは正の有意な相関が認められたが、葉身中全窒素、マグネシウムおよび葉柄中酸態窒素濃度との間に有意な相関は認められなかった。最も発芽率が低かった2月だけについてみれば、花粉発芽率と葉身中全窒素濃度との間に有意な負の相関が認められた。また、統計的に有意ではなかつ

たが ($P=0.066$)、葉柄中硝酸態窒素濃度が高くなるほど発芽率が低下する傾向が認められた。しかし、全体に発芽率が低かった1月から3月だけについてみれば、花粉発芽率と葉柄中酸態窒素濃度との間に有意な正の相関が認められ、全窒素との間には相関が認められなかった。

葉身中炭水化物濃度については、全期間を通じてみると花粉発芽率と果糖、ブドウ糖、デンプンおよび全非構造炭水化物濃度との間に有意な正の相関が認められたが、ショ糖濃度については有意な相関が認められなかった。しかし、無機養分と同様に2月についてみれば、発芽率とショ糖濃度との間だけに有意な正の相関が認められた (Fig. 4, Table 2)。

開花前の戸外の気象条件と花粉発芽率との間の相関係数を Table 3 に示した。全期間を通じてみた場

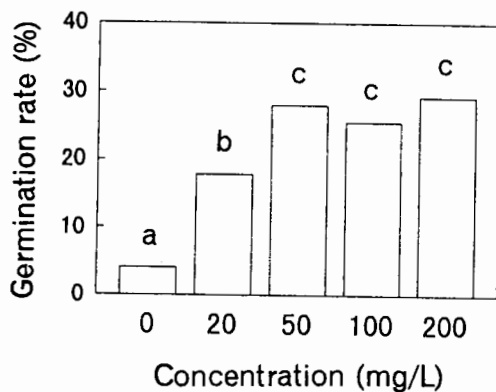


Fig. 1 Effect of H_3BO_3 concentration on pollen germination of strawberry cv. Nyoho. Values sharing a letter are not significantly different by LSD test ($P=0.05$).

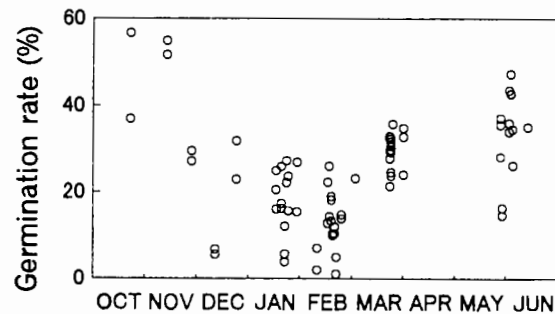


Fig. 2 Seasonal changes in pollen fertility in strawberry cv. Nyoho grown in 15 greenhouses.

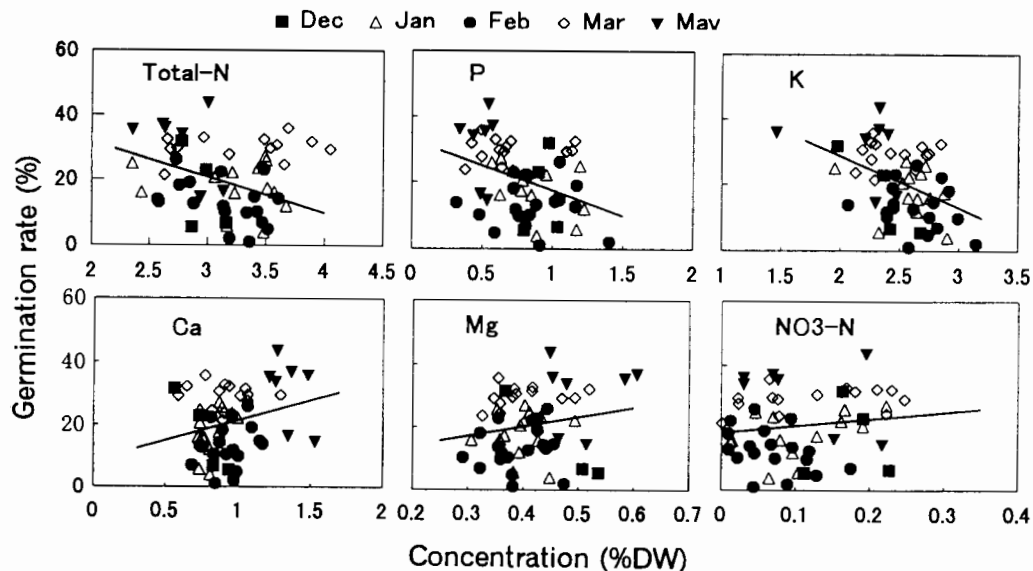


Fig. 3 Relationships between pollen fertility and concentration of minerals in leaves of strawberry cv. Nyoho. See also Table 2.

合、花粉発芽率と開花1, 2, 3日前の日射量との間に有意な正の相関が認められた。また、比較的発芽率が低かった1月~3月だけについてみれば、花粉発芽率と開花前日および2日前の日射量との間に有意な正の相関が認められた。ただし、2月だけについてみた場合には、発芽率と開花前の日射量との

間に有意な相関は認められなかった。また、発芽率と開花当日の戸外の最低気温との間にはいずれの時期でみても有意な相関が認められた。2月だけについてみた場合、開花前日の最低気温との間にも有意な相関が認められた。

700~900 ppm CO₂ 施用区の発芽率は1, 2月には

Table 2 Correlation coefficients between pollen fertility and concentration of carbohydrates and minerals in leaves of strawberry cv. Nyoho.

Factor	Dec-May (n=56)	Jan-Mar (n=45)	Feb (n=18)
<i>Carbohydrate</i>			
Sucrose	-0.104	0.024	0.522*
Glucose	0.346**	0.264	-0.363
Fructose	0.281*	0.322*	-0.168
Starch	0.318*	0.054	-0.077
Total	0.281*	0.184	0.270
<i>Mineral</i>			
Total-N	-0.154	-0.022	-0.520*
NO ₃ -N ^{a)}	0.150	0.300*	-0.463
P	-0.376**	-0.294*	0.022
K	-0.445***	-0.345*	-0.190
Ca	0.267*	0.122	0.233
Mg	0.196	0.142	0.189

*, **, ***: Significant at 5%, 1% and 0.1% levels, respectively.

^{a)} in petiole.

Table 3 Correlation coefficients between pollen fertility, and cumulative light energy and outside minimum temperature on the days before anthesis in strawberry cv. Nyoho.

Days before anthesis	Dec-May (n=56)	Jan-Mar (n=45)	Feb (n=18)
<i>Cumulative light energy</i>			
1	0.322*	0.322*	-0.277
2	0.363**	0.319*	-0.153
3	0.309*	0.168	-0.220
4	0.209	0.127	0.006
5	0.007	-0.276	0.185
<i>Minimum temperature</i>			
0	0.333**	0.304*	0.703**
1	0.234	0.203	0.603**
2	0.155	-0.191	0.031
3	0.329	0.053	-0.331
4	0.438***	0.322*	-0.181
5	0.443***	0.542***	-0.112

*, **, ***: Significant at 5%, 1% and 0.1% levels, respectively.

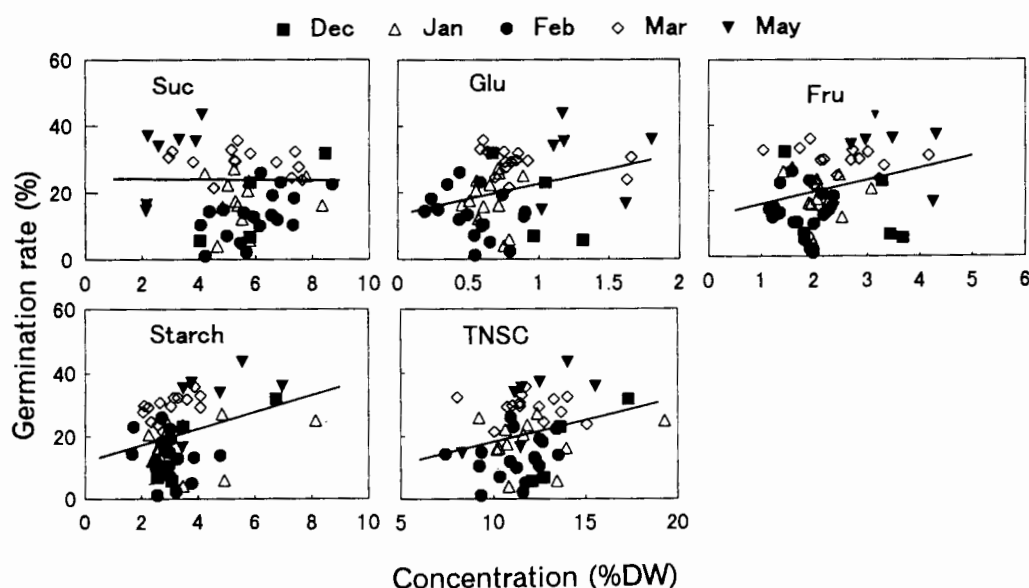


Fig. 4 Relationships between pollen fertility and concentration of soluble sugars, starch and total non-structural carbohydrate (TNSC) in leaves of strawberry cv. Nyoho.

See also Table 2.

無施用区より有意に高かったが、着果負担が少ない11月においては処理区間にほとんど差が認められなかった (Fig. 5).

考 察

本実験の結果から、花粉稔性の変動が奇形果発生の原因であることが確認された。藤井ら^{3,4)}は、トマト、ナスの花粉稔性が光量の低下に伴って低下することを明らかにしており、イチゴにおいても、遮光によって受光量を低下させると花粉稔性は低下することが示されている^{9,11)}。本実験においても700~900 ppmのCO₂施用によって花粉発芽率が向上し、開花当日のショ糖を除く葉中非構造炭水化物濃度と発芽率との間に有意な相関が認められた。以前から指摘されているように、光合成速度の低下に伴って発育中の花粉への光合成産物の分配が減少し、花粉の発育が抑制されると結論づけてよいであろう。また、開花当日の最低気温と発芽率との間にも有意な相関が認められたが、今回調査したハウスは構造、内張りの設置方法あるいはCO₂施用をかねた石油ファンヒーターによる簡易暖房の有無など温度管理の点で種々の違いがあった。ハウス内気温と戸外の気温の変化とが必ずしも一致しないことから、低温の影響についてはさらに検討する必要がある。

Smeets¹¹⁾は遮光処理開始2日後から急激に花粉稔性が低下するとしており、並木ら⁸⁾も開花直前の花から採取した花粉はほとんど発芽力を持たないと報告している。本実験においても、開花1~3日前の積算日射量と発芽率の間に負の相関が認められた。‘女峰’の花器は雌ずいの分化終了から開花までの約10日間で急速に発育する¹²⁾。葯中のイチゴ花粉については開花2日ほど前から急速に成熟し、この時期の光合成産物不足が花粉稔性に最も大きく影響するのである。

しかしながら、2月のスクロース以外の葉中炭水化物濃度と発芽率との間に相関は認められなかった。本実験では、花粉の充実に大きく影響する開花前ではなく当日に葉の試料を採取した。植物の葉中の炭水化物濃度は日変動が大きいことことから、開花当日の日射量の影響が強く現れたため有意な相関が得られなかったのかもしれない。ただし、低温条件下では植物体中の可溶性糖類、特にスクロース濃度が上昇し、高温条件下では代謝速度が高まるため、炭

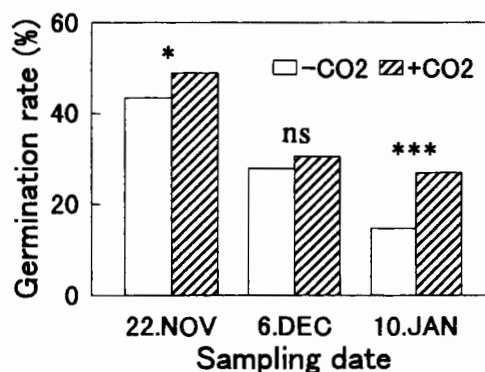


Fig. 5 Effect of CO₂ enrichment on pollen fertility in NFT grown strawberry cv. Nyoho.

ns, *, ***: non significant, significant at 5% and 0.1% levels by t test, respectively.

水化物濃度が低下する¹⁰⁾。全期間を通じて得られた花粉発芽率との相関は、季節的な温度変化に伴う炭水化物濃度の変化と日射量、気温の変化に伴う花粉発芽率の長期的な変動が一致した結果であろう。窒素以外の無機成分濃度と花粉発芽率との関係についても、同様に季節的な変動によるものであろう。

並木ら⁸⁾は多窒素施肥によってイチゴ花粉の稔性が低下するとしているが、本実験では葉中窒素濃度と花粉発芽率との関係については一定の傾向を見いだすことができなかった。トマト、スイカなど多くの果菜類で過剰の窒素施肥によって栄養生長過多となり、着果が不安定になることが知られている。この原因は花(果実)と茎葉との光合成産物の競合の結果、雌ずいの受精能力が低下することにあるとされている。しかし、高窒素栄養が花粉稔性におよぼす直接的な影響については明らかではない。一部のハウスでは葉身中全窒素が3.6% DW、葉柄中硝酸態窒素が0.2% DWを越えており、窒素過多の傾向がみられたことから、高窒素栄養条件下では発育中のイチゴの花粉への光合成産物の転流量が減少する可能性は否定できない。しかしながら、花粉稔性が最も低くなる1、2月は本来休眠期であり、一般的には草勢が低下するため、高窒素で助長される茎葉との競合が強まるとは考えにくい。イチゴでは果実のシンク活性が極めて強く、“成り疲れ”による草勢低下も果実との光合成産物の競合がその一因であるとされており⁶⁾、イチゴ植物体内で発育中の花とすでに結果した果実との間で光合成産物の競合が起こることは容易に予想される。高窒素栄養条件下では、イチゴ

の花房当たりの花数が増加することから¹³⁾, 多窒素施肥による花粉稔性の低下は, 着果負担の増大による間接的な影響ではないかと推察される。

イチゴに CO₂ 施与を行うと, Fig. 5 のように花粉稔性が高まるだけでなく, 窒素などの葉中無機養分濃度が低下することが示されている⁵⁾。光合成が促進される条件下では, 炭水化物代謝とともに無機養分の代謝, 転流速度も高まるため, 植物体中の濃度が低下するのであろう。冬季光合成産物が不足し, 花粉稔性が低下する条件下では, 相対的に葉中窒素濃度が高まった結果, 本実験のような葉中全窒素濃度と花粉発芽率との間の負の相関が得られたと考えられる。すなわち, 弱光, 低 CO₂ 濃度条件下では光合成速度が低下する上に, 果実は非常に高いシンク活性を有するため, 発育中の花粉への光合成産物の配量が減少し, 花粉稔性が低下する。同時に, 光合成産物不足と低温短日による栄養生長速度の低下のため, イチゴ植物体内での窒素の代謝速度が低下する。その結果として葉中窒素濃度が高くなるのであろう。実際に, 2 月の葉中炭水化物濃度と全窒素濃度との間には高い負の相関が認められ (Fig. 6), 葉中全窒素濃度 3.3% DW 以上であっても発芽率が約 15% と比較的高いハウスもみられた (Fig. 3)。

厳寒期における‘女峰’花粉の発芽率低下には従来から言われているように低日射が強く影響していることが確認された。しかし, 同一日に採取した花粉であっても農家間に大きな差が認められたことから, 日射量以外の要因についても考察する必要がある。先に述べたように, ハウス内気温もその一因と考えられるが, 花粉とは別に 2 月 18 日に 15 棟のハウスか

ら一斉に採取した葉中の炭水化物濃度は, ハウスによって大きく異なった(データ省略)。今回調査したハウスは経年的な有機物投入量が異なるため, 土壌からの CO₂ 発生量にかなりの違いがあり¹⁶⁾, 石油ファンヒーターによる CO₂ 施与¹⁵⁾の有無, 施与時間等についても様々であった。また, 夜冷育苗による促成栽培から北海道士幌町で育成されたりレー苗を利用した半促成栽培に近い作型まで種々の作型で栽培が行われていた。そのため, ハウス内の CO₂ 環境は大きく異なっていたと推察され, 花粉採取時の着果量についてもかなりの変動がみられた。これらの要因が, 光合成速度と光合成産物の分配を通じて花粉の発育に影響した結果が発芽率の変動として現れたのであろう。

以上のように, 光合成および光合成産物の分配に関与する多くの要因がイチゴの花粉稔性に影響していることが示唆された。花粉稔性を向上させ, 受精不良果の発生を抑制するためには, 多量の有機物投入によって土壌からの CO₂ 発生量を増加させる¹⁶⁾とともに適度の摘果を行い¹⁴⁾, 発育中の花への光合成産物の転流量を増加させ, 花粉および雌ずいの発育が抑制されないよう配慮する必要がある。

要 約

促成栽培したイチゴ‘女峰’の“成り疲れ”と同時期に発生する受精不良による奇形果発生要因を明らかにするため, イチゴ生産者の 15 棟のビニルハウスの花粉稔性の变化を調査し, 気象要因, 葉中無機養分および炭水化物濃度との関係について解析した。花粉稔性は気温, 日射量が低下し, 着果負担が増大する 1, 2 月に急激に低下したことから, 奇形果発生の原因が花粉稔性の低下にあることが示された。花粉稔性と開花前 1～3 日の日射量, 当日の戸外の最低気温, 葉中炭水化物濃度およびリン, カリウム, カルシウム濃度との間に高い相関が認められた。窒素濃度との関係には一定の傾向が認められなかった。CO₂ 施肥によって腋果房収穫開始期 (1 月) の花粉稔性が高まったことから, 低日射と過重な着果負担による光合成産物不足が花粉稔性低下の大きな原因であると考えられた。

文 献

- 1) 阿部泰典・町田治幸・野口 孝: イチゴの奇形果防止に

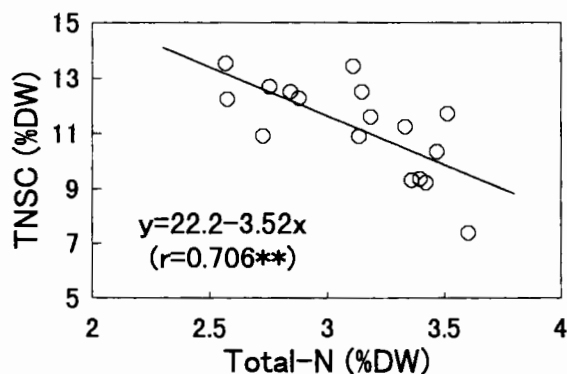


Fig. 6 Relationship between total non-structural carbohydrate (TNSC) and total nitrogen in leaves of strawberry cv. Nyoho on February.

- 対する蜜蜂の効果, 農業および園芸, **45**, 987-988 (1970)
- 2) 赤木 博・大和田常晴・川里 宏・野尻光一・安川俊彦・長 修・加藤 昭: イチゴ新品種「女峰」について, 栃木農試研報, **31**, 29-41 (1985)
- 3) 藤井健雄・斉藤 博・中村平和: 蕃茄の落花に関する研究 (第1報) 光度の減少が落花に及ぼす影響, 農業及び園芸, **16**, 1600-1604, 1740-1744 (1941)
- 4) 藤井健雄・中村吉男・北島春樹: 茄の落花に及ぼす光度の影響に就いて, 農業及び園芸, **19**, 1063-1064 (1944)
- 5) 伊谷慈博・藤日幸擴・吉田裕一: NFT 栽培におけるイチゴの養水分吸収に及ぼす CO₂ 施用の影響, 生物環境調節, **36**, 145-150 (1998)
- 6) 峯岸正好・泰松恒雄・木村雅行: イチゴ宝交早生の促成栽培における根の生育と果実生産について, 奈良農試研報, **1**, 31-38 (1982)
- 7) 水村裕恒・渋谷三郎: 埼玉県におけるイチゴ栽培の問題点(3), 農業および園芸, **43**, 1715-1720 (1968)
- 8) 並木隆和・藤本幸平: イチゴの花粉の発芽に関する研究 (第1報) 温度の影響, 昭43秋園学要旨, 174-175 (1968)
- 9) 並木隆和・藤本幸平・大林直鉦・木村雅行: イチゴの花粉生成並びに花粉発芽に関する研究 (第2報) 花粉生成におよぼす光量と窒素の影響, 昭44秋園学要旨, 160-161 (1969)
- 10) 酒井 昭・吉田静夫: 植物の活性と温度, 植物生理学 8 環境と温度 (古谷雅樹編), pp. 66-83, 朝倉書店, 東京 (1981)
- 11) Smeets, L.: Effects of light intensity on stamen development in the strawberry cultivar 'Glasa'. Sientia Hort., **4**, 255-260 (1976)
- 12) 吉田裕一, 時實充洋, 藤日幸擴, 中條利明: イチゴの花芽形成時における雌ずいの分化時期と発育速度の変異, 園学雑, **60**, 619-625 (1991)
- 13) 吉田裕一・藤日幸擴・中條利明: イチゴ「愛ベリー」の花芽発育と奇形果発生に対する窒素栄養の影響, 園学雑, **60**, 869-879 (1992)
- 14) 吉田裕一, 後藤丹十郎, 時實充洋: イチゴ「愛ベリー」の果実生長に対する摘果の効果, 京大農場報告, **3**, 7-11 (1992)
- 15) 吉田裕一: ファンヒーターの利用によるイチゴの炭酸ガス施肥, 香川園芸研究協議会々報, **32**, 35-40 (1993)
- 16) Y. Yoshida, Y. Morimoto and K. Yokoyama: Soil organic substances positively affect carbon dioxide environment in greenhouse and yield in strawberry, J. Jpn. Soc. Hort. Sci., **65**, 791-799 (1997)