

氏 名(本籍) ^{かな}金 ^{はま}濱 ^{こう}耕 ^き基

学位の種類 農 学 博 士

学位記番号 農 第 325 号

学位授与年月日 昭和 62 年 3 月 12 日

学位授与の要件 学位規則第 5 条第 2 項該当

学位論文題目 キュウリの曲がり果に関する研究

論文審査委員 (主 査)

教授 堀 裕 教授 星川清親

教授 江原淑夫

論 文 内 容 要 旨

結 語

キュウリの果実の品質は食味よりも外部形態によって評価されることが多い。果実を外部形態で分けると、まっすぐで形の良い、いわゆる整形果と、形の不整な、いわゆる不整形果とに分けられる。更に、不整形果は曲がり果、変形果（尻太り果、尻細り果など）、奇形果（双子果など）に分けられる。商品価値は整形果が高く、不整形果は低い。不整形果の中でも軽度の曲がり果は曲がり角度が小さいほど商品価値が高く、角度の大きい曲がり果や変形果、奇形果は著しく低い。通常、市場に出荷されるのは整形果と不整形果の中の軽度の曲がり果であり、他の不整形果はほとんど出荷されない。実際栽培において整形果の収穫割合は少なく、ほとんどが不整形果である。不整形果の中では、ほとんどが曲がり果で、変形果、奇形果は少ない。したがって、できるだけ曲がりの小さい果実をより多く生産することがキュウリ栽培において重要となる。

曲がり果は開花前の子房に既にみられる。その発生原因として雌花分化後の子房発育期における環境条件、栄養状態が関係していると考えられている。一方、開花後の曲がり果の発生原因として、開花時の子房の曲がり果があげられており、開花時に曲がりの大きい雌花ほど収穫時の果実の曲がり角度が大きいといわれている。更に、開花後の果実の曲がり果を発生原因別にみると、品種特性、物理的障害、生理的障害に分けられる。

キュウリの品種、系統を果実の長さで分けると、長い種類、中間の種類、短い種類に分けられ、一般に、長い種類ほど曲がりやすく、短い種類ほど曲がりにくいとされている。物理的障害の発生は地はい（這）栽培から支柱栽培へ、放任栽培から摘心・整枝栽培へと移るなかで付随的に減少してきたといえる。しかし、どの様な品種、栽培方法を取り入れてもなお多くの曲がり果が発生することは、生理的原因による曲がりの多いことを意味する。生理的障害の原因として、受精不良、受光量不足、低温、高気温、成り疲れ、茎葉過繁茂、養水分の過不足など、個々の要因があげられているが、これらを総合的に検討した例はみられない。

キュウリの果実は他の野菜の果実と同様、開花期ころまでに細胞分裂が終了しているといわれている。したがって、曲がり果の発生原因について考える場合、開花期を境にして、開花前の雌花の分化・発達期（細胞

分裂及び細胞肥大期)と、開花後の果実伸長・肥大期(細胞肥大期)の二つの時期に分けて考える必要がある。

本研究は開花前の曲がり子房花及び開花後の曲がり果の基本的性質と、その発生、増大のメカニズムを明らかにすることを目的として行った。以下、主要な結果を第1章～第6章に分けて示す。

第1章。 曲がり果発生に及ぼす栽培条件の影響

栽植密度(Fig.1)、受光量(Fig.2)、葉数及び着果数(Fig.3,4)を変えて栽培した結果、1株当たり(葉乾物重×比照度)/(収穫果数)が小さいほど曲がり果の発生が多く、平均曲がり角度が大きくなった。したがって、曲がりの発生、増大は光合成産物の供給量の減少によると理解された。加えて、従来、収穫時の曲がり角度は開花時の曲がり角度との間に高い相関があるといわれてきたが、本実験では、むしろ開花時と収穫時の間における曲がり角度増加度との間に高い相関が認められた。

第2章。 曲がりの発生、回復と、炭水化物の分布

キュウリの曲がり、開花前(Fig.5)、開花後(Fig.6)にかかわらず、子房ないし果実への光合成産物供給量が減少して、果実の相対生長率が著しく低下する(Fig.7)と発生し、その供給が少ないほど曲がり角度の大きい果実が、より多く発生した(Table 1)。曲がり、開花後6日、果実長15cm前後に最大になって、青果としての収穫期を過ぎてもなお生長を続けさせると徐々に回復する(Fig.6)ので、曲がりの発生は細胞分裂の偏りによるものではないとみられた。果実内の炭水化物濃度は、曲がりの増大期には曲がりの外側で、曲がりの減少期には曲がりの内側で高かったので、曲がりの発生、回復は光合成産物の果実内における分配の偏りの結果起こるものとみられた。

第3章。 曲がりの方向と器官配列の規則性

巻きひげの発生方向や葉序の回転方向(Fig.8)、茎の断面形態などに左右性を含む器官配列の規則性が認められた。開花前の子房も、開花後

の果実も、曲がる場合は常に巻きひげ側に曲がった(Fig.9)。子房ないし果実では、3つの心皮のうち巻きひげ側が最も小さく、次いで茎側が小さく、巻きひげと反対側が最も大きかった(Fig.10)。キュウリでみられた左右性を含む器官配列の規則性は他のウリ科野菜でも認められた。

第4章。 曲がりの方向と維管束の配列

節及び節間の維管束の配列に葉序の左右性を含む規則性が認められた(Fig.11,12)。更に、花柄(Fig.13)及び果実内の維管束(Fig.10)の配列にも同様の規則性が認められた。果柄から果実中央部への維管束連絡は果柄→果托→果皮(外果皮→中果皮→内果皮)→隔壁→果心→胎座→種子の順であった。

第5章。 曲がりの方向と¹⁴C-光合成産物の転流、分配

葉から茎への¹⁴C-光合成産物の転流(初期転流)は維管束の配列と連絡に従って、葉の着生側の維管束を通過して下方に行われた(Fig.14,15)。

果実着生節位葉からその果実内への¹⁴C-光合成産物の転流(初期転流)も、葉の着生側の維管束(巻きひげ側の心皮と巻きひげと反対側の心皮の境界に位置する)を通過して行われた。すなわち、果柄→果托の維管束No.6→果皮(外果皮→中果皮→内果皮)→隔壁のNo.2→果心のNo.2→胎座のNo.4又は5→(種子)の順であった(Fig.16,17)。したがって、葉から果実への光合成産物の初期転流は維管束配列の規則性に従って偏りが認められたが、その偏りは曲がりの方向とは一致しなかった。

¹⁴C-光合成産物の果実内での終局的な分配は、還元糖の分析結果(第2章)と同様、曲がりの増大期には曲がりの外側の心皮に多く、曲がりの減少期には曲がりの内側の心皮に多かった(Fig.18)。したがって、キュウリの曲がりは果実内に転流した光合成産物の心皮間における分配の偏りの結果発生するものとみられた。

第6章。 曲がりの方向と心皮の配列

心皮は葉と相同な器官であり、果実を構成する複数の心皮は普通葉と同様に、1枚ずつ順に発生すると理解されている。その具体例として、

心皮数の変動しやすいマクワウリ‘早田ウリ’をみると、心皮の数は低夜温で多く、高夜温で少なかった(Table 2)。また、心皮の数の増加と配列に一定の傾向が認められた(Fig.19)。このように、1個の果実を構成する複数の心皮間に本来の発生位置や時期に違いがあり、その違いが1個の果実内でのSinkとしての強さを異にして現れるものと考えられた。

以上、第1章～第6章の結果、キュウリの曲がり果は、光合成産物の供給が不足した場合に心皮間におこる養分吸収の偏りによって発生し、器官配列の規則性に従って発現する、一種の光合成産物欠乏症状であるということが出来る。

心皮は葉と相同な器官であると理解されているので、果実を構成する、通常3枚の心皮は発生順位が異なり、Sink力としての強さも異にすると考えられた。果実の発育初期にはSink力の弱い心皮が巻きひげ側に配列し、Sink力の強い心皮が巻きひげと反対側に配列しているため、果実への光合成産物の転流量が減少した場合にこれらの心皮間で養分吸収の競合が生じ、Sink力の強い巻きひげと反対側の心皮が先に肥大して曲がりが増大し、その肥大が飽和されたのちにSink力の弱い巻きひげ側の心皮が遅れて肥大して曲がりが増大するものと考察された。これらを模式的に表現すると次のように示される。

光合成産物の欠乏→心皮間の養分競合→優勢な心皮の早い肥大
(曲がりの増大)→劣勢な心皮の遅い肥大(曲がりの減少)→
整形果(曲がりの回復)

なお、光合成産物の初期転流は維管束の配列と連絡に従って行われたが、曲がりの方向とは直接には関係しなかった。しかし、1株に1果、1葉を残した場合、残した葉の着生位置に関わらず、曲がりの方向は常に巻きひげ側に起こること、果実の曲がりが増大すること、及び曲がりの増大期には曲がりの外側、曲がりの減少期には曲がりの内側の部分の還元糖濃度が高く、心皮の¹⁴C-光合成産物の終局的な分配が多いことから、曲がりの発生、発現は心皮間における光合成産物吸収の偏りによるとする上記の考えは支持されよう。

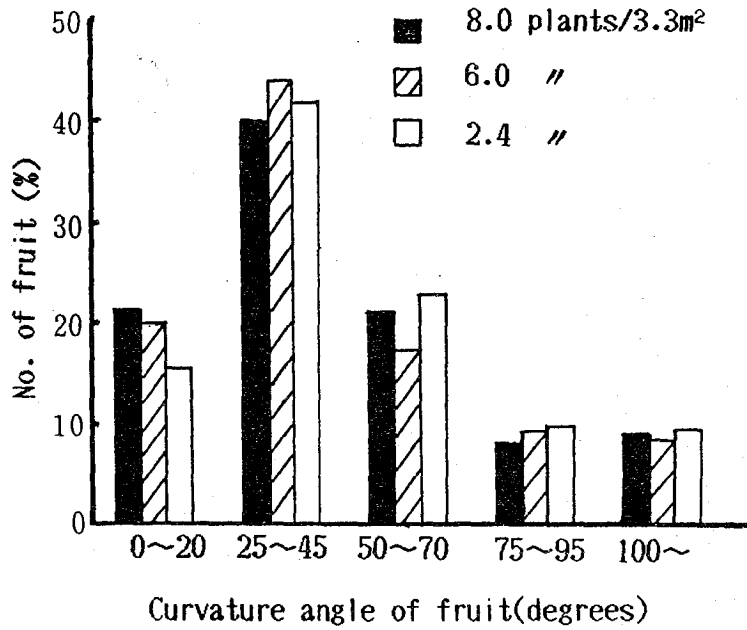


Fig.1. Effect of planting density on curvature angle of fruit at harvest. Average of 6 plants.

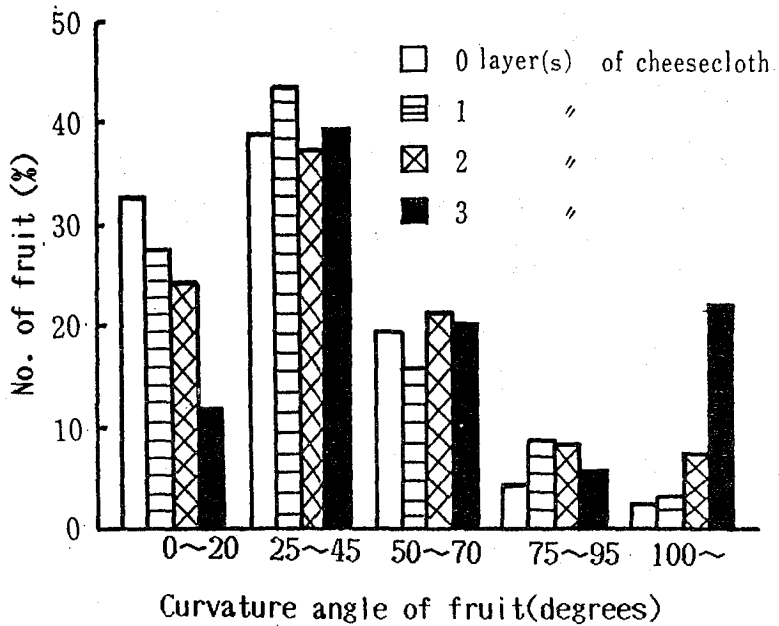


Fig.2. Effect of shading on curvature angle of fruit at harvest. Average of 6 plants.

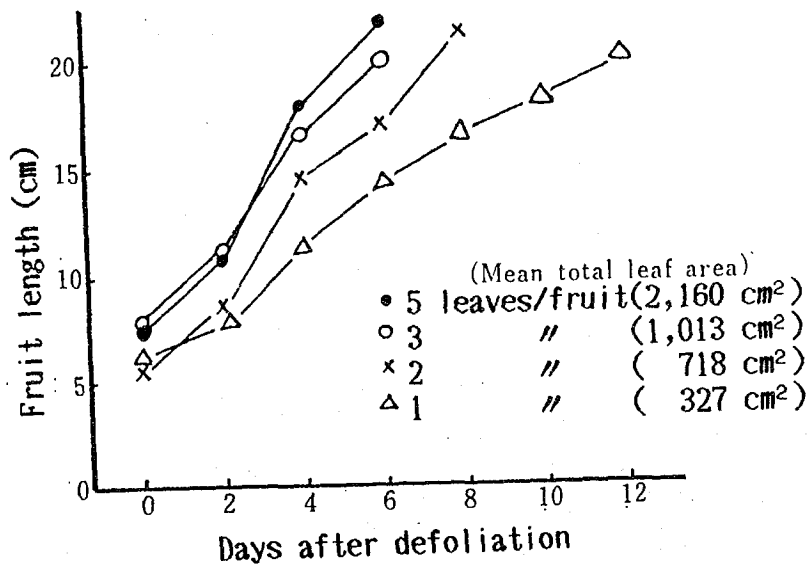


Fig.3. Effect of the number of leaves on the fruit growth. One fruit with 1, 2, 3 or 5 leaves was retained per plant. Average of 4 plants.

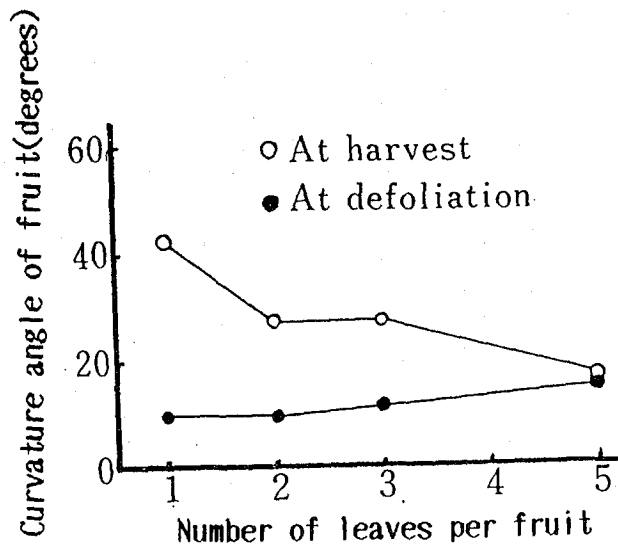


Fig.4. Effect of the number of leaves on the fruit curvature angle.

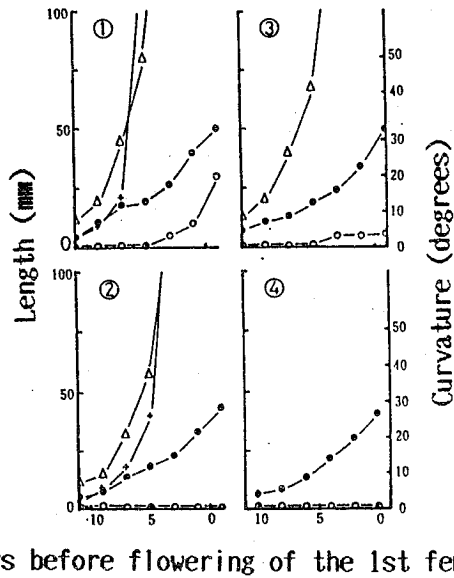


Fig.5. Effect of removing neighboring organs on the ovary length(●) and curvature(○) of the 1st female flower retained (Expt.1). ① None removed, abnormal ovary growth. ② None removed, normal ovary growth. ③ Tendril alone removed, normal ovary growth. ④ All of the neighboring organs removed, normal ovary growth. Neighboring organ(s) in ③ and ④ were removed 11 or 10 days before flowering. (+) : length of tendril, (Δ) : length of main stem above the node concerned.

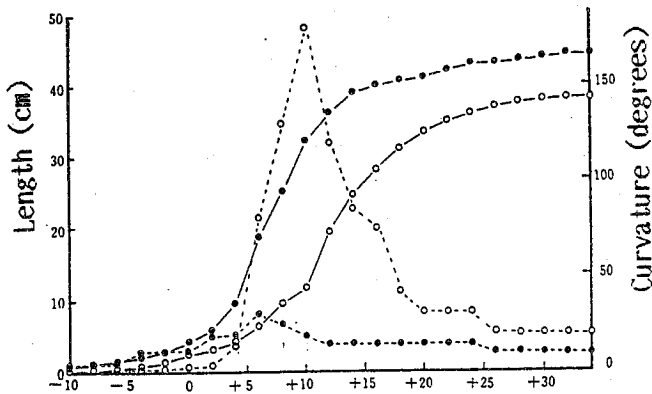


Fig.6. Changes with time in length (—) and curvature(---) of ovaries or fruit of the 1st(●) and 2nd(○) female flowers (Type 2). The 2nd female flower flowered 4 days behind the 1st one, and grew abnormally.

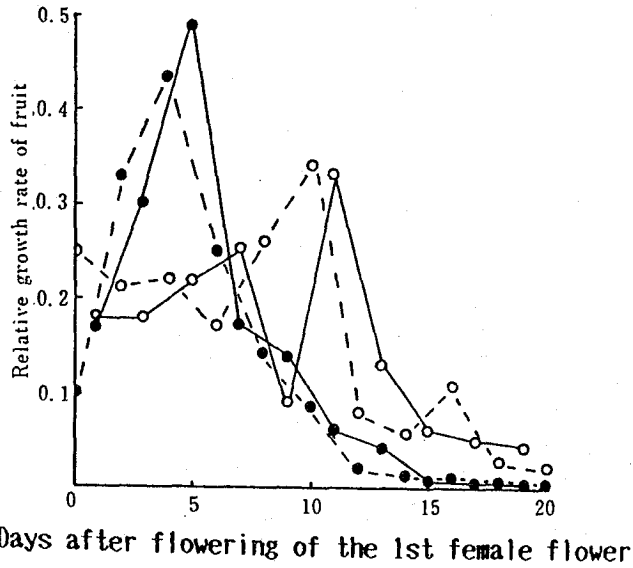


Fig.7. Relative growth rate of the 1st(●) and 2nd(○) fruit on the plant. Varying with the occurrence (—) and non-occurrence (---) of curvature in the 2nd fruit.

Table 1. Effects of planting density and shading on the number of fruit harvested(A), leaf dry weight(B), light transmission rate(C), value of B·C/A, average curvature angle of the fruit, and duration from flowering to harvest^z.

Treatment	No. of fruit per plant (A)	Leaf dry weight (g) (B)	Light transmission (C ×)	B·C/A	Fruit curvature angle (degrees)	From flowering to harvest (days)
Planting density ^y						
High	32.3	69.5	1.00	2.15	48.8±34.5	8.4
Medium	36.5	70.8	1.00	1.94	48.0±36.4	8.7
Low	74.3	178.6	1.00	2.40	52.7±39.4	7.8
Shading ^y						
Control	30.5	111.7	1.00	3.66	36.4±23.8	11.0
Light	20.5	76.1	0.40	1.48	41.5±26.5	12.2
Moderate	15.5	67.1	0.23	1.00	46.1±32.2	13.4
Heavy	12.2	54.5	0.13	0.58	61.0±42.2	16.1

^z Average of 6 plants.

^y High : 8.0, medium : 6.0, Low : 2.4 plants per 3.3m².

0, 1, 2 and 3 layer(s) of cheesecloth was (were) used for the control and light, moderate and heavy shading, respectively.

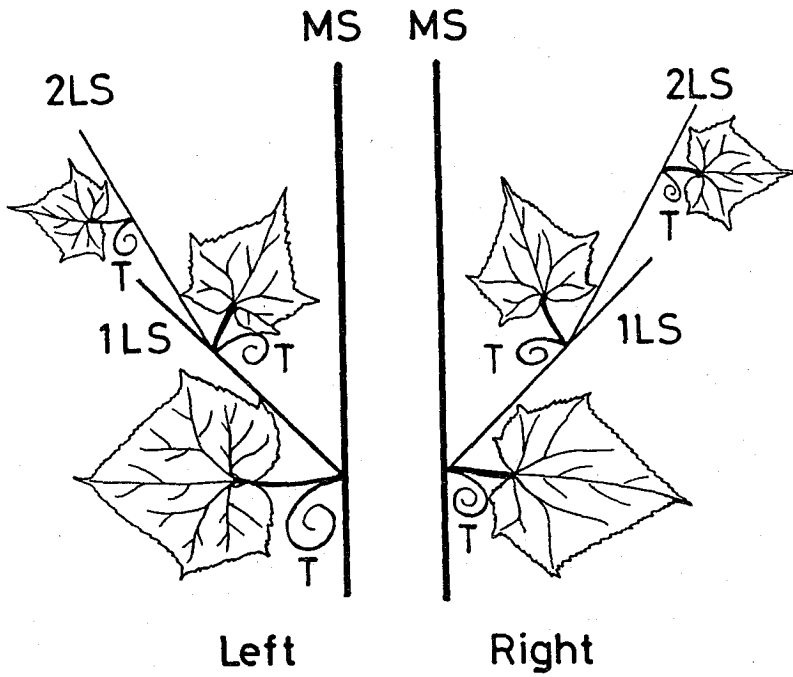


Fig.8 . Schematic diagram of right- and left-handedness of phyllotactic spiral in main stem and lateral shoot. MS : main stem. 1LS. and 2LS : primary and secondary lateral shoot. T : tendril.

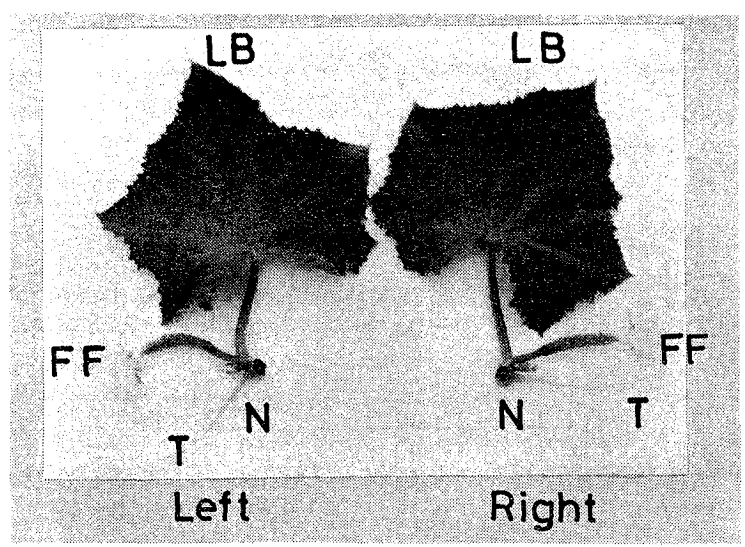


Fig.9. Right- and left-handedness of ovary curvature in cucumber plant. T : tendril. N : node. FF : female flower. LB : leaf blade.

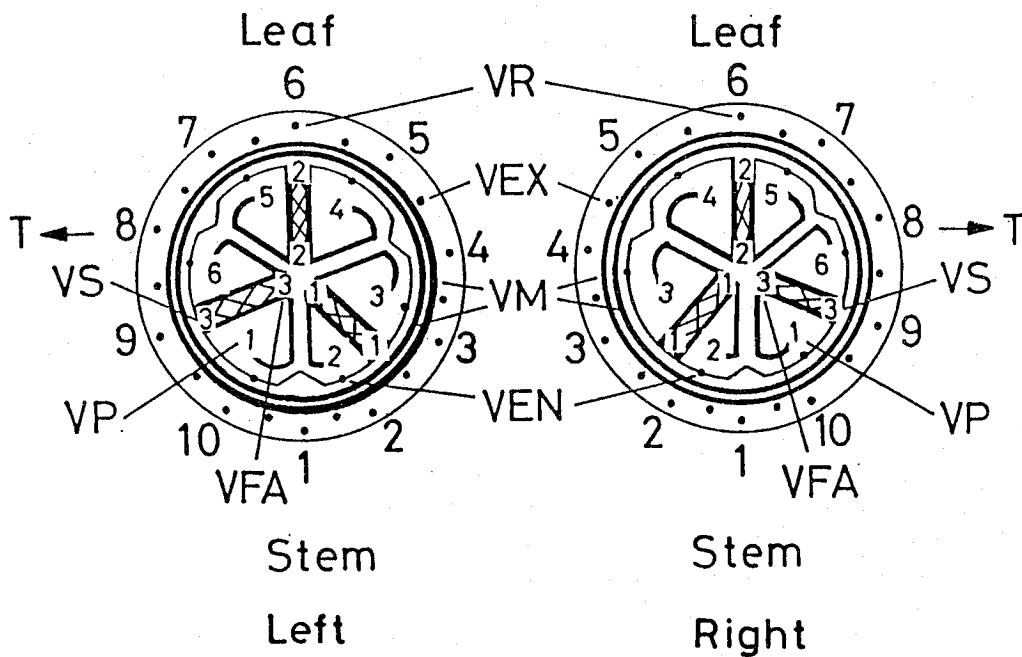


Fig.10. Vascular system in the fruit of the right- and left-handedness. VR, VEX, VM, VEN, VS, VFA and P ; vascular bundle of receptacle, exocarp, mesocarp, endocarp, septum, fruit axis and placenta. T : tendril.

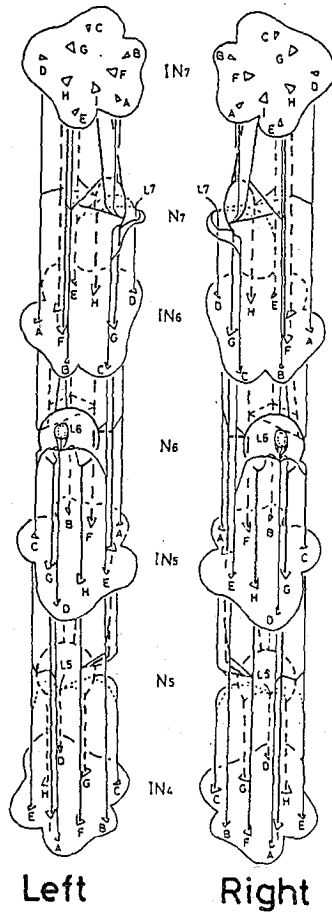


Fig.11. Vascular system in cucumber main stem. N_n and L_n : nodal numbers and leaves on respective nodes. IN_n : internode between N_n and N_{n+1} . A, B, C, D, E, or F, G, H, I : vascular bundle of internode in outer side or inner side.

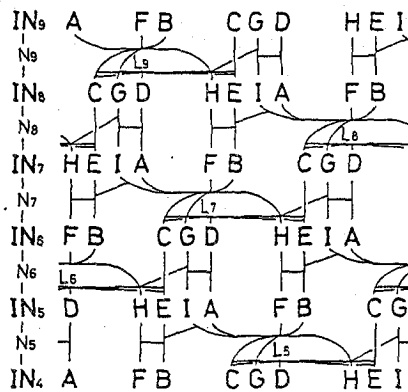


Fig.12. Schematic diagram of vascular system of left-hand main stem. IN , N , L , A-I : refer to Fig.11.

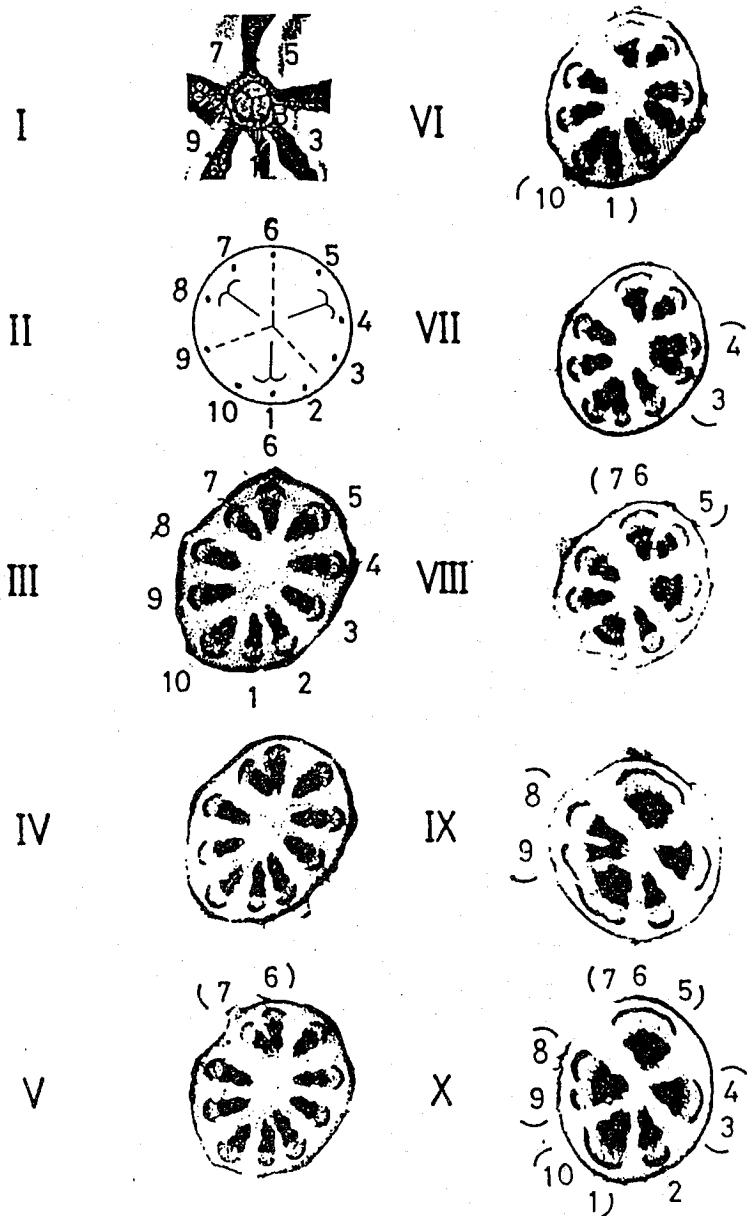


Fig.13. Vascular bundle differentiation in the peduncle of female flower on the node of left-hand main stem. I : petal(1, 3, 5, 7, 9), sepal (2, 4, 6, 8, 10) and stigma(A, B, C) arrangement in female flower. II : transection of ovary showing arrangement of vascular bundles (1~10) of receptacle. III~X : transections of peduncle showing transition in the arrangement of vascular bundles from distal(III) to proximal ends (X).

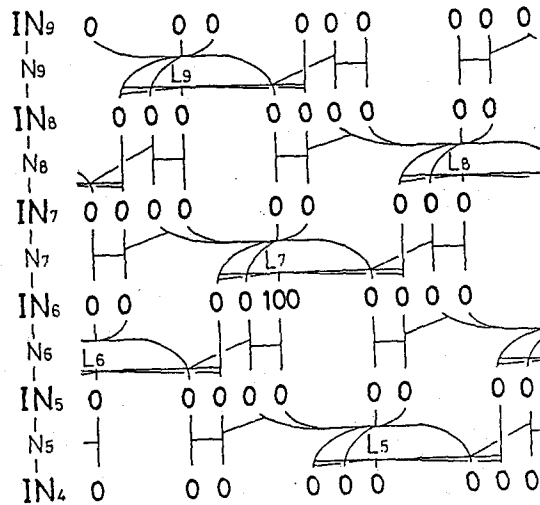


Fig.14. ^{14}C -activity of vascular bundles(VBs) in each internode of the plant of left-handedness. Plants were harvested 20 minutes after the $^{14}\text{CO}_2$ supply to the 7th leaf. ^{14}C -activity of VBs in each internode was calculated as the percentage of the ^{14}C -activity of the VB D in the 6th internode just below the $^{14}\text{CO}_2$ supplied leaf. IN, N, O, A~E, F~I, ; refer to Fig.11 and 12.

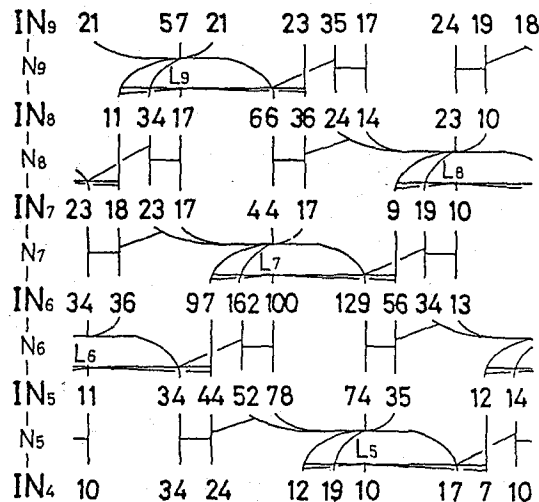


Fig.15. ^{14}C -activity of vascular bundles(VBs) in each internode of the plant of left-handedness. Plants were harvested 20 hours after the $^{14}\text{CO}_2$ supply to the 7th leaf. ^{14}C -activity of the VBs ; refer to Fig.14. IN, N, L, O, A~E, F~I ; refer to Fig.11 and 12.

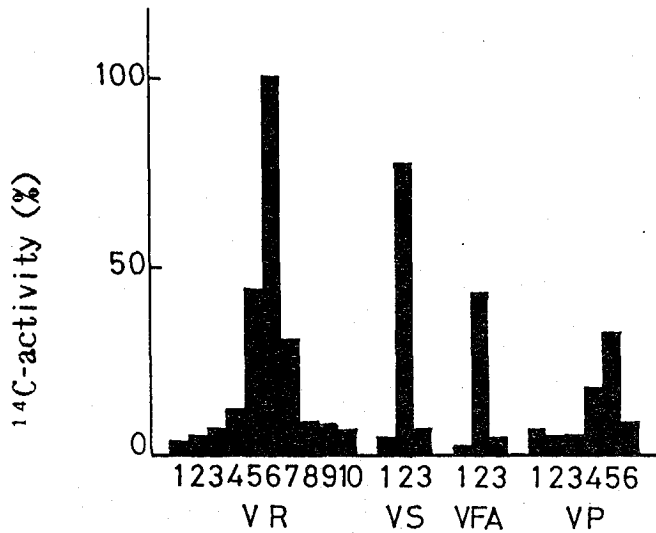


Fig.16. ¹⁴C-activity of vascular bundles(VBs) in each part of the fruit of the plant of left-handedness. Plants were harvested 2 hours after the ¹⁴CO₂ supply to the 7th leaf. In each part, ¹⁴C-activity of VBs was calculated as the percentage of the ¹⁴C-activity of the VB No.6 of the receptacle. VR, VS, VFA, VP, ; refer to Fig.10.

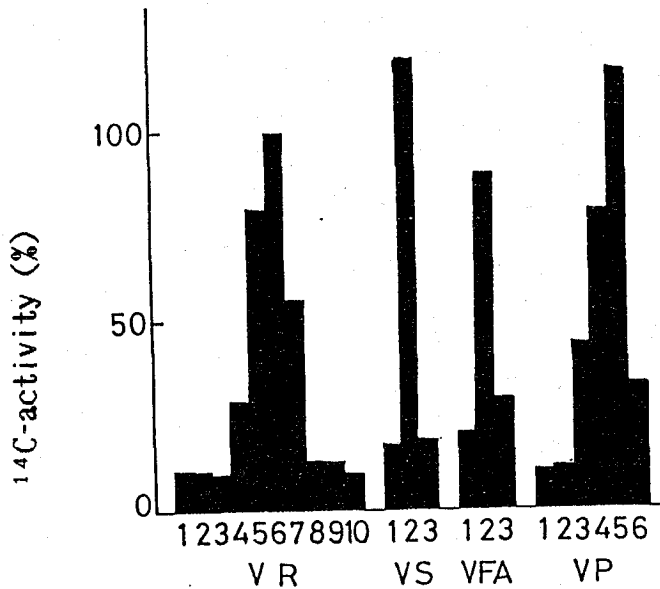


Fig.17. ¹⁴C-activity of vascular bundles(VBs) in each part of the fruit of the plant of left-handedness. Plants were harvested 20 hours after the ¹⁴CO₂ supply to the 7th leaf. ¹⁴C-activity of the VBs ; refer to Fig.16. VR, VS, VFA, VP ; refer to Fig.10.

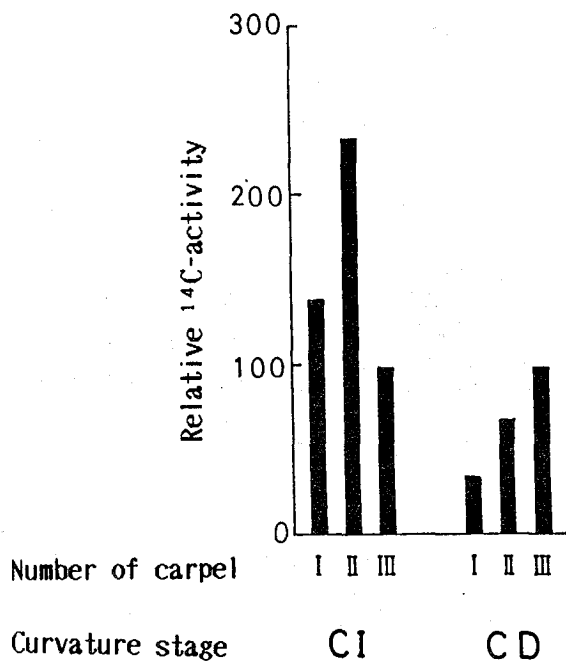


Fig.18. ¹⁴C-activity in the carpels of fruits at curvature -increasing (CI) and -decreasing (CD) stages in the plant of left-handedness. ¹⁴C-activity (dpm/mg dry weight) of carpel III was normalized to 100 at respective stages. Carpel I; facing the stem. Carpel II; opposite the tendril, and situated outside the curvature. Capel III; facing the tendril, and situated inside the curvature.

Table 2. Effect of night temperature on the number of carpels in ovaries of 'Wasada-uri' melon.

Temperature(°C) Day - Night (12h)-(12h)	Number of carpels				Total no. of ovaries observed	Average no. of carpels per ovary (Means±SE.)
	3	4	5	6		
24 - 24	9 ^z	24	66	1	296	4.6±0.04
24 - 17	5	16	79	-	290	4.7±0.03
24 - 12	5	7	84	4	156	4.9±0.04

^z Percentage of ovaries.

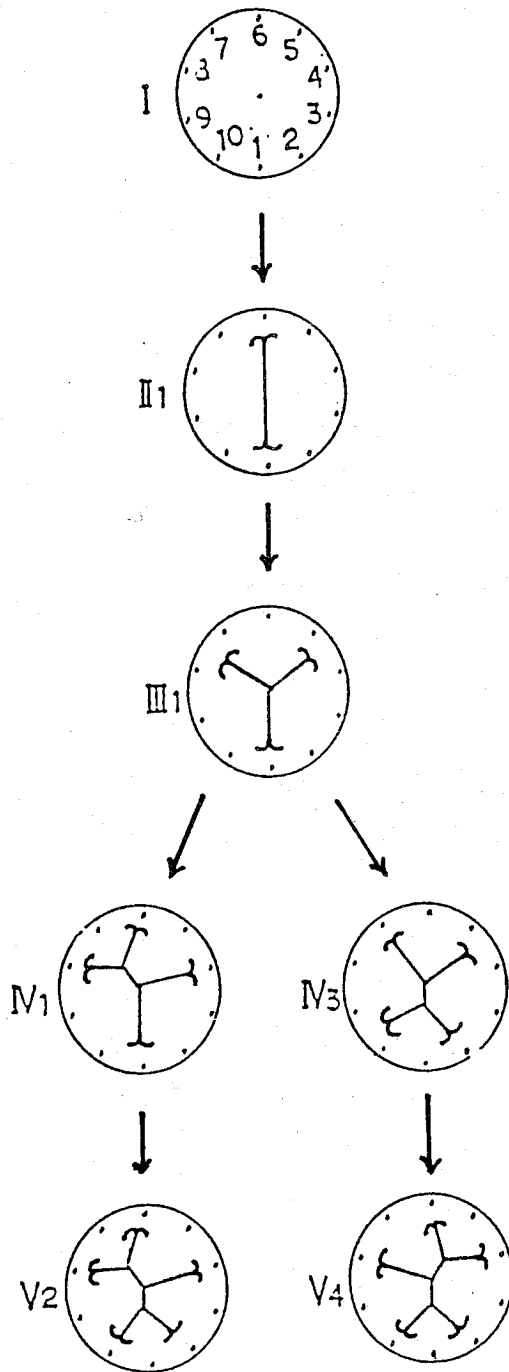


Fig.19. Typical pattern of increase and arrangement of carpels in ontogenetic development of melon ovary.

審 査 結 果 の 要 旨

キュウリ栽培では、多少の差はあれ、曲がり果が発生して商品価値を低下させるとともに、著しい場合は商品性を失わせる。しかし曲がり果発生の原因や対策についての報告は極めて少ない。本研究において、著者はまず栽培試験により、曲がり果は、開花の前後を問わず、光合成産物の供給不足による相対生長速度の一時的低下に伴って発生すること、開花後の曲がり果の大きさは開花時のそれとは必ずしも高い相関を示さないこと、青果としての収穫期を過ぎて生育させるときは曲がり果の回復がみられること、更に主たる炭水化物である還元糖濃度が曲がり果の増大期には曲がり果の外側で、曲がり果の回復期には曲がり果の内側で高いことなどを明らかにした。

次いで、葉序を始めとして器官配列の左右性と左右交互性を含む規則性を明らかにするなかで、果実が曲がる場合は常に同節位の巻きひげ側を曲がり果の内側として曲がること、3枚の心皮のうち巻きひげ側が最も小さく、巻きひげと反対側が最も大きいことを指摘した。また、このような法則性の存在から、曲がり果の発生原因として、光合成産物の供給が不足するなかで、その果実内分布に偏りが生ずることを推定し、曲がり果の増大期について、 ^{14}C をトレーサーとしてそのような偏りが生ずる原因を検討した。その結果、果実内への初期転流経路は必ずしも曲がり果の外側と対応しないが、24時間後には遂次曲がり果の外側にその蓄積が見られたことから、偏りの原因は転流経路（維管束の走行）の偏りよりも、むしろ3枚の心皮それぞれのシンク活性の相違によるものと結論するとともに、シンク活性に相違を生ずる原因は心皮の発生様式との関連で考察されるべきものと推論した。

以上のように、本研究は、キュウリの曲がり果について、曲がり果の方向に規則性が存在することを始めて認めるとともに、その発生原因を検討し、従来にない推論を試みたものであり、審査員一同農学博士の学位を授与するに値するものと判定した。