

ハクサイの結球現象に関する研究 (V)

—葉の屈曲に及ぼす環境要因の影響—

加 藤 徹

(農学部そ業学研究室)

Studies on the head formation of chinese cabbage (V)

Effects of environmental factors on the nasty movement of leaves

by

TORU KATO

(Laboratory of Vegetable Crop Sciences, Faculty of Agriculture)

Summary

The effects of environmental factors on the nasty movement of leaves were investigated to understand the mechanism of head formation in chinese cabbage in more detail.

1. Shading induced the hyponastic movement of leaves, but it was affected by age, part and area of leaves, and flank of vein which was exposed to light conditions.

Both young and old leaves were not sensitive to light, while adult matured-leaves were remarkably sensitive. The top part of leaf, ventral flank of vein, and much amount of leaf area were more sensitive than those corresponding controls.

2. It was shown that leaves curved inward when transferred from the place under full light intensity to the place under 20 per cent of full light intensity and expanded gradually when transferred from the dark room to the place under 20 per cent light intensity.

These results suggest that nasty movement of leaves is controlled not only by light intensity in daytime but also by duration of illumination.

3. Short photoperiod promoted the hyponastic movement of leaves, but extremely shorter photoperiod, which appeared to give shortage of assimilation to growth and development of leaves, inhibited the inward movement.

4. Blue light retarded the inward movement by shading, while red light did not.

5. Hyponastic movement of leaves by shading was promoted with increase in temperature, soil moisture, but not so much with wet air moisture.

I. ま え が き

白菜の結球現象は遮光に感応して起る葉の屈曲現象⁽⁵⁾で、結球の遺伝子によって制御されている。この遺伝子は量的因子と考えられるもので、葉数の増加の速度、葉の大きさ、葉形などに関係しているばかりでなく、葉の部位による屈曲度合にも強く関係していることを明らかにしてきた^(6,7,8,9)。

このように結球の遺伝子が多くの面に大きく関係しているわけであるが、なお環境条件によって葉球の形成がおくれたりあるいは抱合していた球葉がほどけたりすることがみられている^(1,2,3,4,10,11)。

これらの関係を明らかにするために、環境要因と葉の屈曲との関係を追求したのが本報告である。

II. 方法および結果

1. 光に対する葉の感応の仕方

(1) 葉令との関係 30日苗の白色包頭連を9月10日老葉，成葉または若葉のみをそれぞれ2枚だけを残し，前報⁽⁶⁾の方法に従って鉢ごと暗室に入れ，24時間後に屈曲度を測定した。

その結果は第1表のとおりで，老葉，若葉ともに屈曲少なく，光に対して鈍感であるのに対し，成葉は屈曲度が大きく，最も光に対して敏感であった。

(2) 葉の部位との関係 30日苗を成葉2枚残して他全部を摘除し，成葉を次のように処理した。すなわち第1図のように葉先のみを残し，下方の葉身を除いた区と逆に下方の葉身を前と同一面積だけ残して先端部を除いた区とをもうけて，暗室に入れ，光に対する葉の部位別による感応の差異を調査した。

その結果は第1図，第2表のとおりである。葉先を残した区は基部を残した区より葉の屈曲が多く，光に対して敏感に反応した。

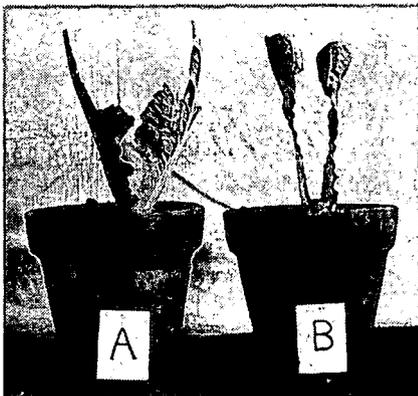


Fig. 1 Sensitivity of leaf part to dark.

A : Basal part of leaf

B : Top part of leaf

(3) 葉の表裏との関係 成葉2枚を残した30日苗を2区に分けて暗室に入れ，1区は植物体上で1000 Luxの明るさになるように約30cmの高さから100ワット電球で葉の表面を照明した区，他は約30cmはなれて横から第2図のように照明した区をもうけた。30時間後に葉の屈曲度を測定した。

その結果は第2図，第3表のとおりで，葉の表面（向軸面）に光が照明されても，無照明区と同じ位に屈曲して立上ってしまったが，裏面（背軸面）照明区では立上りが抑制され，屈曲が少なかった。

以上の結果は裏面の方が表面より光に感応しやすいことを示すものであろう。

Table 1. Effect of leaf age on the hyponastic movement by dark treatment.

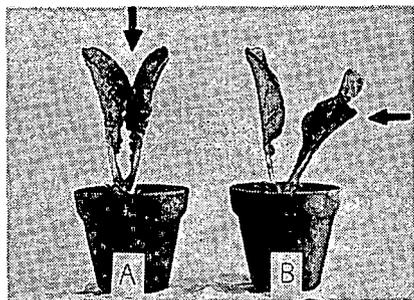
Sample \ Leaf age	Old	Adult	Young
1	6°	25.	8°
2	9	31	12
3	8	27	10

* Degrees hyponastic curvature

Table 2. Sensitivity of leaf part to dark.

	Top part	Basal part
1	24°	15°
2	25	16
3	27	18
4	24	16

* Degrees hyponastic curvature



← Direction of illumination

Fig. 2 Sensitivity of leaf flank to illumination

A : Illumination on the dorsal flank of vein.

B : Illumination on the ventral flank of vein.

(4) 葉面積との関係

i) 葉身を切除して葉面積を制限した場合

葉身を先端から 0, 1/5, 2/5, 3/5 を除いて植物体を暗室に運び、その屈曲度を測定した。その結果は第 4 表のとおりで、葉面積の減少に伴って屈曲が少なくなった。

Table 4. Effect of leaf area on the hyponastic movement of leaves by dark treatment.

Sample	Untreated	1/5 removed	2/5 removed	4/5 removed
1	25°	18°	7°	2°
2	28	14	6	3
3	22	15	5	1
4	24	18	5	3

* Degrees hyponastic curvature

ii) 葉身の下部をしゃ光して受光面積を制限した場合

暗室内において葉の裏ななめ下方から光を投射し、その受光面を基部の方からボール紙でしゃへいして受光面積を制限した。すなわち受光面積を全葉面積の 3/3, 2/3, 1/3 にして葉面上 1000 Lux になるように 100 ワット電球を約 30 cm 離して投射し、屈曲度合を 30 時間後に測定した。

その結果は第 5 表のとおりで、光に対して葉面積の多いほど屈曲しにくく、敏感に反応している結果が示された。

Table 5. Hyponastic response of leaves to lateral illumination with special reference to leaf area exposed.

Sample	3/3 leaf area exposed	2/3 leaf area exposed	1/3 leaf area exposed
1	10°	25°	30°
2	12	24	28
3	10	22	24

* Degrees hyponastic curvature

Table 3. Sensitivity of leaf flank to illumination

	Illumination	
	On dorsal flank	On ventral flank
1	22°	10°
2	19	12
3	24	8
4	22	14

* Degrees hyponastic curvature

2. 葉の屈曲に及ぼす光の影響

(1) 光の強さの影響

照明されると光に反応して葉が展開し、しゃ光すると逆に立ち上ることはすでに報告してきたが⁽⁶⁾、その強さとの関係についてはまだはっきりしていなかった。これらを明らかにするために次の簡単な2実験を行なった。

i) 人工照明による実験 成葉2枚を残した植物を0, 60, 100, 200ワット電球の下約30cmのところ戸外より運び入れ、0, 500, 1000, 1500 Luxの光を与え、葉の立ち上りに及ぼす光の強さの影響を調査した。

その結果は第6表のとおりで、30時間後の状態では1500 Luxの明るさではわずかに立ち上がりがおくっていたが、48時間後には暗黒下においた状態と同じ葉の立ち上りとなった。

Table 6. Effect of various light intensity on the hyponastic movement of leaves.

Sample	Light intensity			
	0	500	1000	1500 Lux
1	32°	29°	29°	20°
2	36	34	23	20
3	28	25	20	16
4	30	30	27	22

逆に30時間暗室において葉を立ち上らせた植物体を1500 Luxの明るさのところ運んだが全く葉の展開はみられなかった。

ii) 自然光による実験 天候によって第3図のように葉の立ち上りあるいは展開がしばしば観察されたので、光の明るさを自然光の100, 60, 20パーセントに寒冷紗で調節した区をそれぞれ設け、暗室に30時間おいて、あらかじめ葉を立ち上らせておいた植物体をそれぞれの区に配置し、6時間後に調査した。

その結果は第4図と第7表のとおりであった。



Fig. 3 Daily rhythm of hyponastic movement of leaves in chinese cabbage.

A : Sept. 9, Cloudy 5,000 Lux
 B : " 10, Fine 50,000 Lux
 C : " 11, Rainy 1,000 Lux

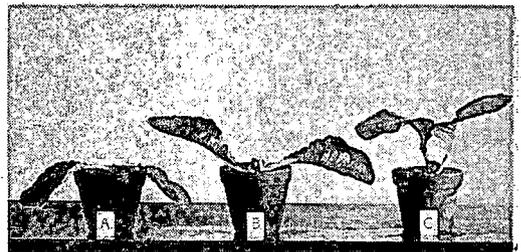


Fig. 4 Epinastic response of leaves to various light intensity.

Plants were moved from dark room to natural light condition (A), 60% of A (B) and 20% of A (C) and were kept there for 6-hours.

Table 7. Epinastic movement of leaves under various light intensity.

Sample	Light intensity		
	100 %	60 %	20 %
1	85°	56°	30°
2	90	62	35
3	90	58	34
4	87	85	37

*. Degrees epinastic curvature

自然光の20パーセント程度の明るさであるとひじょうに展開がおくれたが、じょじょに展開していった。

したがってこの程度の明るさでは露光される時間が問題で、露光される時間が長ければ長いほど葉は展開してしまう傾向がみられた。

逆に100パーセントの自然光区から20パーセントのしゃ光区に植物体を移せば、時間の経過とともに次第に葉の立ち上る様相がみられた。

(2) 光の波長の影響 葉の屈曲には光の強さが関係しているが、光のうちどの波長がとくに葉の屈曲に影響を及ぼしているかを観察するために次のような簡単な実験を行なった。

光源が強くないと、戸外から人工照明下に運んでも葉は屈曲してしまうことは前述したところであるが、相対的な比較ならば光源が弱くても短時間の露光による結果からでも知りうる事が確かめられているので、30ワットの有色ランプを使用し、それぞれに相当する色セロファンをさらに包んで実験を行なった。

暗室に戸外より運び、暗室内の有色照明を24時間行なった結果は第8表のとおりである。

赤および白色光では暗黒下と同じように葉が速やかに立ち上ってしまったが、青色光下ではその屈曲が少なく、抑制された。

以上から波長の長い光線は暗黒と同じように作用し、葉の立ち上りを促すが、波長の短い光線は逆に葉の立ち上りを抑制し、いつまでも葉を展開させておく傾向をもっていると考えられた。

(3) 日照時間の影響 15 cm の鉢植えの30日苗を9月10日より4、8、12、16、24時間日長区にそれぞれ分け、さらに各区を葉の立ち上りの様相を調査するために2群に分け、1つは最大の展開葉2枚を残した株と他はそのままの完全な株とした。16、24時間日長区は150ワット電球を植物体上50 cmの距離から補光した。

10日間の日長処理の結果は第5図と第9表のとおりである。



Fig. 5 Effect of photoperiods on the expansion of leaves. Short day promoted hyponastic movement of leaves, and long day expanded leaves.

日長時間が短くなるにつれてよく葉が立ち上っているが、4時間日長では葉の立ち上りは8時間日長より劣る傾向がみられた。これは同化時間の不足による炭水化物の不足が関係しているものと考えられた。

一方植物体そのものを日長処理を行なった結果は第6図のとおりで、日長時間の長い区ほど葉の分化発育がよく、展開葉数の増加となり、外側の葉が内部をしゃ光し、結球体勢を促進している傾向がみられたのに対し、日長時間の短い短日区では葉は立ち上っているものの、葉の発育が不良で、葉数も少なく、結球態勢の完成がおくれているようであった。

このことは球の形成にしゃ光に伴う葉の立ち上りの外に互に抱合し合うだけの大きい葉が多くなければならないことを暗示している。

Table 8. Effect of light quality on the hyponastic movement of leaves.

Sample	Light			
	Dark	Blue	Red	White
1	30°	14°	21°	22°
2	27	15	23	23
3	25	17	25	23
4	29	13	27	25

* Degrees hyponastic curvature



Fig. 6 Effect of photoperiods on the induction of head formation in chinese cabbage.

Upper row : Side-view

Lower row : Top-view

3. 葉の屈曲に及ぼす温度の影響

(1) 温度の影響

9月10日に成葉2枚のみを残した30日苗を30°, 20°, 16°Cの恒温暗室に運び、30時間後にとり出してその屈曲度を測定した。

その結果は第9表のとおりで、高温ほどよく屈曲していた。

(2) 変温の影響

前記植物を高温から低温へ、低温から高温へそれぞれ移すと、第10表にみられるとおり、高温区へ移された植物ではよく屈曲したのに対し、高温区から低温区に移された植物ではあまり屈曲がみられなかった。

Table 9. Effect of photoperiods on the outward curvature of leaves.

Photo-period(hr)	4	8	12	16	24
Sample					
1	46°	40°	60°	64°	72°
2	44	45	65	70	68
3	48	38	64	75	76
4	56	42	68	77	68

* Natural daylength : 12-hr.

* Degrees epinastic curvature

Table 10. Effect of temperatures on the hypónastic movement of leaves by dark treatment.

Temp.	30°C	20°C	16°C
Sample			
1	34°	23°	6°
2	36	20	13
3	45	30	16
4	38	26	10

Table 11. Effect of alternating temperatures on the hypónastic movement of leaves by dark treatment.

Temp.	30°C → 30°C	30°C → 16°C	16°C → 16°C	16°C → 30°C
Sample				
1	18°	7°	6°	24°
2	12	10	8	22
3	16	6	4	27
4	12	8	10	30

4. 葉の屈曲に及ぼす水分の影響

(1) 土壌水分の影響

15 cm 鉢に栽培中の30日苗を使用し、9月8日より次のような処理を行なった。重量法によって土壌水分を45パーセント、35パーセントおよび25パーセントにした多湿、中湿、少湿区を翌光処理3日前から作り、当日に成葉2枚を残して他は切り取り、温度25°Cおよび空気湿度85パーセントの暗室にはこび、30時間および60時間後に屈曲を測定した。

その結果は第11表のとおりで、多湿区の方がより多く屈曲がみられたが、60時間後にはほとんど差異がみられなくなっていた。

(2) 空気湿度の影響

30日苗の白色包頭連を供試し、土壤水分を十分に与えてから葉のみを出して鉢全体をビニールで包み、葉以外の部分からの水分の発散を抑えた。これら鉢をあらかじめ空気湿度を乾燥剤で20~30パーセントにした乾燥区と水を濾紙にしたして暗室においた多湿区(80~100%)とに分けて処理した。暗室処理の温度は25°Cで、30時間および60時間後にそれぞれ葉の屈曲度を測定した。30時間後に一度空気湿度の調節を行った。

その結果は第12表のとおりで、空気湿度が高い方が屈曲しやすいが、60時間後にはほとんど差はみとめられなかった。

III. 考 察

光の刺激を感受する部位は葉であり、反応する部位もまた葉であるが、成熟葉が一番敏感に感応して屈曲し、若葉および老葉は反応が鈍い。これは葉内の生理状態によるものであることはすでに明らかにした⁽⁶⁾。

背軸面の方が、向軸面より光に感応しやすいし、葉先の方が基部よりも光に対して敏感である。また受光面が増大するにつれてその反応が拡大される(第2, 3, 4, 5表)。

投射光が強くなるにつれて葉は外側への屈曲いわゆる展開が強くなり、逆に弱くなると内側への屈曲いわゆる結球体勢へと進行する。このような傾向は同じ状態が続けばますます強化されるものであることがみとめられた(第6, 7表)。

光のうちで青色光のような短い波長は強光と同じように作用し、葉の展開を促進するのに対し、赤色光のような長い波長は逆に弱光と同じように作用し、葉の内側への屈曲を促す傾向がみられた(第8表)。

日長時間が短かく、夜間が長くなるにつれて葉の立ち上りは促進されているが、極端な短日条件下ではかえって葉の立ち上りが抑制される傾向がみられた(第5図, 第9表)。

これは日照時間不足に由来する炭水化物の不足によるものと考えられる⁽⁶⁾。一方第6図で観察されたように補光による長日条件は葉の分化発育を促しており、この面からの結球体勢への促進がみとめられた。

これはすでに報告^(7,9)した葉形、葉面積、葉数など結球体勢の完成に関係していることと一致するもので、たんに葉の立ち上りだけで球の形成をみることはできない。

葉の屈曲に対し、温度および土壤水分が影響を与えているが、空気湿度はあまり関係していない

Table 12. Effect of soil moisture on the hypostatic movement of leaves by shading treatment.

Soil moist	Heavy	Medium	Light
30 days after dark treatment			
1	29	23	18
2	25	24	20
3	26	18	16
4	23	24	18
60 days after treatment			
1	46	48	42
2	48	42	48
3	52	45	45
4	41	44	50

Table 13. Effect of air moisture on the hypostatic movement of leaves by dark treatment.

Sample	Treatment	
	Heavy moisture	Dry moisture
30 days after dark treatment		
1	27	19
2	25	16
3	20	18
4	22	14
60 days after dark treatment		
1	42	40
2	40	43
3	43	41
4	48	42

ように思われた。

第10, 11, 12表でみとめられたように、温度が高いほど、土壤水分の多いほど葉の屈曲が強められ、逆に低温、乾燥条件はその屈曲運動を弱めたりあるいは停止せしめたりするようである。

したがって自然の長日条件は短日条件下よりも日照時間が長いし、照度も強く、高温乾燥時期に相当するので、葉は外側への方向に屈曲しやすく、すなわち展開しやすい傾向がある。そのため結球体勢への進行がおくれ、球の形成までの外葉数が多くなってしまうのであろう。

さらには種適期より早い種の場合時期が長日高温の夏であるので青色光を多量に含む光線となっている。このこともまた球の形成の遅延に関係している理由の一つであろう。

また夏期は乾燥しやすいので葉の屈曲が阻害されることも関係しているかも知れない。

一方遅まきした場合は短日下で、日照も弱く、赤色光も多くなってきているので結球体勢をとりやすい条件が満たされているが、温度が低温になってきているので葉の内側への屈曲がじょじょにしか進行しない状態となってきているので結局適期まきより外葉数をより多く必要とするようになるものと考えられる。

もちろん低温、短日によって葉の生長が衰え、内部をしゃ光する度合も少くなることも関係している⁽⁷⁾。

春から夏にかけて栽培する春まき栽培では結球中よく球葉が展開するが、夏から秋にかけて栽培する秋まき栽培ではあまりみられないのは球葉の先端に強光が長時間あたることも原因していると思われるし、外側の外葉が老化したり、病虫害でいたむとそれより内側の外葉が強光、長日、高温によってわずかず外側へ展開し、球葉にあたる受光面が結局拡大されてほどけてくることにもよると思われる。

伊東⁽⁴⁾ が報告しているように外葉がなくても球葉の受光面が拡大されなければ球葉はほどけなからいことから考えても後者の関係が前者より強いように思われる。

IV. 摘 要

白菜の結球現象はしゃ光に感応して起る葉の屈曲現象であるが、結球に及ぼす環境要因の影響をいっそう明らかにするために、葉の屈曲と環境との関係を調査した。

1. しゃ光によって葉は内側へ屈曲するが、このしゃ光に対し、老葉、若葉ともに屈曲少なく、光に対して鈍感であるが、成熟葉は逆にひじょうに敏感で、よく屈曲した。
2. 成熟葉では葉先の方が基部より、葉の裏面は表面より、光によく感応して屈曲がみられた。また受光面積が多いほど光に感応して屈曲しやすい。
3. 戸外より戸外の明るさの20パーセントのしゃ光下にハクサイを入れると葉は次第に立ち上ってくるが、暗黒下に入れて葉を立ち上らせたハクサイを20パーセントの明るさのしゃ光下におくと次第に展開してくる。
4. 光のうち青色光はしゃ光に伴う葉の屈曲を抑制するが赤色光は促進する傾向がみられた。
5. 日長時間が短くなるにつれて葉はよく立ち上る傾向がみられたが、4時間日長のように短かすぎるとまた葉の立ち上りが抑制された。
6. しゃ光に伴う葉の屈曲は温度が高いほど多くなる。低温下では葉の屈曲が少いが、高温にするとひじょうに顕著に屈曲するようになった。
7. しゃ光に伴う葉の屈曲は土壤水分の多いほどよく促進されたが、空気湿度はあまり関係ないように思われた。

引用文献

1. 藤井健雄. 1951. 白菜系統の発育型. 農及園. 26 : 1091~1092.
2. 北条 豊. 1954. 北陸における早採白採の栽培法. 農及園. 29 : 399~402.
3. 岩間誠造・芹沢暢明. 1953. 標高と蔬菜類の生態(第4報) 結球白菜特に春播を中心とした生態について. 園学雑. 22 : 87~94.
4. 伊東秀夫. 1950. ハクサイ・タマナの結球現象の研究. 新園芸別冊「蔬菜」P 26~30. 誠文室. 東京.
5. 伊東秀夫・加藤 徹・藤井健雄. 板木利隆. 今津 正. 1954. 結球ハクサイ品種の生態的分化に関する研究. 文部省科学試験報告 No. 17 : 33~38.
6. ————. 1957. 白菜の結球現象に関する研究. 結球の組織学的並びに生理学的研究. 園学雑. 26 : 154~162.
7. 加藤 徹. 1964. ハクサイの結球現象に関する研究(II) 葉形よりみたる結球現象. 高知大学研報. 13 : 自然科学II. 195~204.
8. ————. 1964. ————— (III) 結球の早晚生に関する生理学的研究. 同上. 13. 自然科学II. 205~210.
9. ————. 1965. ————— (IV) 結球現象よりみた白菜とな類との関係. 同上. 14 : 自然科学II. 39~48.
10. 東海林繁治. 1950. 結球白菜の播種期. 農及園. 25 : 619~620.
11. 篠原捨喜. 1955. 結球現象. 園芸技術新説 P 660~679. 養賢堂. 東京.

(昭和41年9月30日受理)

