ダイコンのすいり現象に関する研究 (第5報)

すいり程度と生長との間における相関関係

高 野 泰 吉

(名古屋大学農学部)

T. TAKANO: Studies on the pithiness of radish. V. On the correlation of the concentration of soluble solids, weight of top and root, length of inflorescence, or the specific gravity of radish roots to the degree of pithiness

Summary

In order to find the correlation between the degree of pithiness and the growth of radish root, the coefficient of partial correlation has been computed. These coefficients serve to determine the correlation between the dependent factor and each of the several independent factors.

In the second-order partial correlation coefficients, the data obtained from the cultural treatments did not always show significant differences. Among them, certain correlations were found between the degree of pithiness and the amount of soluble solids or the root weight. However, no correlations were found between the degree of pithiness and the length of bolting shoot or leaf weight of radish.

The author did not calculate the coefficient of correlation between the degree of pithiness and the ratio of T/R, but the coefficient of the second-order partial correlation between the degree of

pithiness and the leaf weight is equal to the coefficient of correlation between the degree of pithiness and the ratio of T/R. In most cases, there are little correlations between them. Although T/R ratio declines as the growth of radish proceeds, the progress of pithiness does not run parallel with T/R ratio. If the materials are sampled at the same time, it may not be found the correlation between the degree of pithiness and the ratio of T/R.

The degree of pithiness is highly correlated with the specific gravity of fresh roots. The result clearly shows that the specific gravity is high in non-pithy roots. The first-order partial correlation coefficient is approximately equal to 1.0. These results indicate that there is a close relationship between pithiness or firmness of the root and the specific gravity of fresh root.

すいり程度と生長との間の相関については古くから種々の見解が述べられている。萩屋 (1857)^(7,8) は種々の栽培環境条件の下におけるすの発現と各形質の変量との間の定性相関係数 (Contingency coefficient) を算出し、従来の知見に修正を加えた。しかし、この方法で求めた相関係数は定量的形質についての相関関係を明らかにする上では解析能力が低い。それゆえ、相関分析は2つの変量のいずれもある程度の分布幅をもつか、階級係数を求める方が妥当である。藤井ら⁽⁴⁾ は単相関係数 (Simple correlation coefficient)* を算出したが、すいり指数と他の形質の変量との間に有意な値を示す係数は見いだせなかった。さて、2つの形質の変量の間に存在する

相関関係を明らかにしても、調査個体数を無限にしないかぎり、真の相関関係はなお明らかにならない。実験、調査の個体数に制約があるのでわれわれの求める単相関係数は見かけの相関程度を検出したに止まる。このようにある形質の変量は他の形質の影響をうけているので、第3、第4の形質の影響を消去する、換言すれば他の形質の量を一定にして相関関係を明らかにする必要がある。このためにすいり指数とある形質の変量との間の偏相関係数 (Partial correlation coefficient) を求めて、見かけの相関関係ではなく、より真に近い相関関係を明らかにしようとした。こうして、すいりに関連のあるいくつかの形質の変量と比較したときに、どの形質がどの程度に重要であるかということがわかり、因果関係はさておき、すいり防止対策の着眼点が見いだされるはずである。

1965年6月16日受理

* 全相関係数 (Total correlation coefficient), 零次相関係数 (zero-order correlation coefficient) ともいわれる。

Table 1. Effect of indoleacetic acid (IAA) spray solution at various pH ranges on the growth of radish

Treatments	Root weight g.	Top weight g.	Soluble solids %	Root diameter cm.	Root length cm.	Degree of pithiness
Water	13.37	8.54	3.59	2.91	3.63	1.10
IAA	8.80	8.20	3.66	2.53	3.11	0.80
Buffer, pH 4.2	11.70	8.80	3.52	2.90	3.23	1.10
IAA at pH 4.2	8.20	7.40	3.86	2.68	2.92	0.93
Buffer, pH 5.5	10.80	6.80	3.79	2.85	3.23	1.00
IAA at pH 5.5	8.80	8.80	3.59	2.86	2.98	0.93
Buffer, pH 6.8	12.10	9.20	3.79	2.95	3.20	0.93
IAA at pH 6.8	10.00	8.40	3.73	2.69	3.13	0.80
L. S. D. 5%	2.67	1.92	0.38	0.27	0.42	0.59
1%	3.53	2.44		0.36	0.55	

Note: * Concentration of IAA.....10ppm.,

IAA solution was not adjusted to the definite pH.

** pH of spray solution was adjusted by phosphate buffer solution.

Table 2. Effect of IAA and/or boric acid (B) on the development of radish

Treatments	Root weight g.	Top weight g.	Length of inflores. cm.	Degree of pithiness
Water	7.09	7.84	1.10	1.2
IAA 2ppm.	7.04	6.45	0.84	1.5
IAA 10ppm.	7.19	8532	1.19	1.9
IAA 50ppm.	4.01	7.45	0.93	0.4
B 5ppm.	5.28	6.83	0.70	0.7
IAA 2ppm. + B 5ppm.	7.52	6.88	0.80	1.6
IAA 10ppm. + B 5ppm.	5.86	7.32	0.75	1.2
IAA 50ppm. + B 5ppm.	5.76	6.84	0.92	1.7
L. S. D. 5%	1.68	1.74	0.55	0.55
1%	2.22	2.30		

解 析 方 法

用いた資料は 1961 年 5 月にハツカダイコンに対するインドール酢酸 (IAA) 散布の影響について磷酸塩緩衝液による pH との関連で計画された実験結果と、同年 6 月に IAA の濃度 3 水準とほう素 (B) の組合せ散布の影響を調べた実験結果から相関係数を求めた。二つの実

験結果におけるハツカダイコンの生長ならびにすいり程度は第 1 表および第 2 表の通りである。すいり程度は処理条件によつて著しい相異がもたらされなかつたので、すいり防止の実験としては目的を達することができなかつた。このデータを活用して次の実験課題を探るために相関分析がなされたわけである。

第 1 報において組織粉末比重がダイコンのすいり程度や耐す性品種のめやすとなることを明らかにしたので、本研究においては生のハツカダイコンについて比重をはかつた。材料は 1963 年 2~3 月に作付けたものから採取し、モールス氏型比重天秤を用いて比重の測定に供した。測定個体数は 50 個体である。

単相関係数は

$$r_{12} = \frac{\sum x_1 x_2}{\sqrt{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2)}} \quad (1)$$

の式により算出した。ここに x は変量の平均偏差を示し、suffix 1 はすいり指数、

2, 3, 4 は他の形質を示した。第一次偏相関係数 (The first-order partial correlation coefficient) は三つの変量のうち、第 3 の形質の変量を一定としたときの二つの変量間における相関係数であり、第 2 次偏相関係数 (The second-order partial correlation coefficient) は四つの変量のうち、他の二つの変量を一定としたときの 2 変量の間における相関係数で、算出法は次に示すような式によつた (CROXTON and COWDEN 1955)⁽¹⁾。suffix の数字を入れかえればすべての変量間の偏相関係数は容易に求められる。

第一次偏相関係数の計算式

$$r_{12.3} = \frac{r_{12} - r_{13} r_{23}}{\sqrt{(1-r_{13}^2)} \sqrt{(1-r_{23}^2)}} \quad (2)$$

第二次偏相関係数の計算式

$$r_{12.34} = \frac{r_{12.3} - r_{14.3} r_{24.3}}{\sqrt{(1-r_{14.3}^2)} \sqrt{(1-r_{24.3}^2)}} \quad (3)$$

なお相関係数の有意性検定は SNEDCOR⁽¹⁷⁾ の表によつた。

結 果 と 考 察

表 3 においてすいり程度と可溶性物質濃度との間の偏相関係数は 8 区のうち 4 区が著しい相関係数の値をもっているが、水のみを散布した区 (H_2O) は正の相関で、他の有意な相関を示した区は負の相関であつた。したがつて、宮崎⁽¹²⁾、萩屋^(6,7)が述べているように可溶性物質

Table 3 Second-order partial correlation coefficients between the degree of pithiness and the three growth factors in radish plants

Treatments	Soluble matter	Root weight	Top weight
Water	+0.62* (+4.42)	+0.71** (-0.09)	-0.71** (+0.36)
IAA	-0.76** (-0.68**)	+0.55* (+0.45)	-0.51 (0)
pH 4.2	+0.16 (+0.20)	0 (+0.56*)	+0.03 (+0.07)
IAA (pH 4.2)	-0.34 (-0.60*)	+0.29 (+0.54*)	+0.17 (+0.29)
pH 5.5	-0.23 (-0.33)	-0.06 (+0.27)	-0.64* (-0.20)
IAA (pH 5.5)	-0.27 (-0.56*)	+0.56* (+0.54*)	-0.60* (-0.41)
pH 6.8	-0.55* (-0.43)	+0.71** (+0.64**)	+0.14 (-0.06)
IAA (pH 6.8)	-0.91** (-0.90**)	+0.81** (+0.65**)	-0.57* (-0.28)

Note: Values in parenthesis represent zero-order partial correlation coefficients.

Table 4. Second-order partial correlation coefficients between the degree of pithiness and three independent variables in radish plants

Treatments	Length of inflorescence	Root weight	Top weight
Water	-0.04 (+0.25)	+0.08 (+0.33)	+0.34 (+0.52)
IAA 2ppm.	0 (-0.04)	+0.26 (+0.26)	-0.10 (+0.09)
IAA 2ppm. + B 5ppm.	-0.07 (+0.11)	+0.26 (+0.44)	+0.19 (+0.40)
IAA 10ppm.	+0.43 (+0.36)	-0.42 (+0.03)	+0.78** (+0.78**)
IAA 10ppm. + B 5ppm.	+0.46 (+0.40)	+0.51 (+0.48)	-0.08 (+0.40)
IAA 50ppm.	+0.37 (+0.47)	+0.79** (+0.79**)	-0.46 (+0.40)
IAA 50ppm. + B 5ppm.	-0.08 (+0.08)	-0.20 (-0.14)	+0.18 (+0.09)

Note: Values parenthesis represent zero-order partial correlation coefficients.

濃度が生理的活性の尺度となり、この濃度が高いときすの発現が少ないという見解は必ずしもあてはまらない。なお単相関係数は有意な値であるが第二次偏相関係数は有意な値でなかったり、あるいはその逆の場合がある。また両係数とも有意な場合と有意でない場合もある。これらの点は根重や葉重の例においても同様である。

つぎに根の肥大が進むとすがいはいるといわれているので、根重との相関関係をしらべてみると、表3では8区中5区が通説に該当しているが、表4では7区中1区が

有意な値を示したにすぎなかった。抽苔とすいりとの関係については、抽苔が栄養生長から生殖生長へと発育相の変化を伴っているため、抽苔するとすがはいるとされている⁽⁸⁾。表4の結果では、有意な係数をもつ場合は全くなかった。この結果は萩屋のそれと一致する⁽⁸⁾。したがって、抽苔とすいりとの間には相関があるとはいえないように思われる。

さて従来の知見において T/R 比(地上部重/地下部重)が低下するとすの発現が著しくなることが定説となつている^(4,5,6,7,9,12)。ここでは T/R 率を算出していないが、すいり程度と葉重との偏相関は根重を一定にしたときの相関関係を示すので、T/R 率の場合と全く等しい係数となるはずである。このように理解して表3および表4をみると15区中わずかに5区が有意な値を示し、しかも表4では正の相関係数となつており、従来の結果と反対の内容を表現してさえいる。これらのことから、これまで T/R 率がすの発現と密接な関係にあるとされている点に疑問がもたれる。実際、肥大生長の時期的経過とすの発現との間には明らかに一定の関係があるので、外見上 T/R 率と直接的関係にあるように錯覚されてしまうのである。しかし、同一時点のサンプルについて相関係数を求めると、有意な値を示す場合が少ないのである。したがって、光合成産物の転流能率がよく、地下部に蓄積充実するような条件が満たされると、T/R 率は低くてもすの発現は少ないはずである。たとえば 0.03%の Triphenylborate をダイコンの葉に散布すると、T/R 率は著しく低いにもかかわらず、すの発現は著しく抑えられる。この傾向は追試験の結果再確認している。ODNOFF (1960, '63)^(13,14)によれば Phenylborate は細胞の成熟をおくらせると述べているが、この現象はまた上述のように物質の転流と蓄積能力とに関係しているものと思われる。

これらの事実から、肥大根の充実すなわち比重の大きいことが、すの発現と密接な関係にあるものと推察される。縦断は組織粉末比重が組織器官の充実度を示す測度となることを主張し⁽¹⁰⁾、さらにこの比重が真の比重と相関が高いものであることを明らかにしている⁽¹⁸⁾。この見解にしたがつてすいり程度と組織粉末比重との関係をしらべ、第1報に報告した(高野 1963)。その結果によるとすいり程度の低いものほど組織粉末比重に大きく、組織が充実していることを見出した。同様の測定をショウゴインダイコンの各系統について行なつた結果、早生種 0.729, 中生種 0.730, 晩生種 0.810, 改良すいらず 0.864 の値が得られた。この結果から同一群のダイコンの中では晩生種の比重が大きく、事実すの発現の少ない

Table 5. Correlation coefficient between the degree of pithiness and the specific gravity of flesh root or root weight in radish plants

Order of correlation coefficient	Specific gravity	Root weight
Zero.order	-0.9852**	-0.2918
First-order	-0.9885**	-0.2019

ことがわかり、また晩生種の一系統鷹ヶ峯ダイコンから選抜された改良すいらずは最も充実していることが明らかになった。改良すいらずは2か年にわたる試作の結果においてもすの発現が少ないことをたしかめている。

根の充実度と組織粉末比重、粉末比重と真比重、粉末比重とすいり程度などの関係を上にのべたが、次に生の肥大根の比重とすいり指数との間の相関関係を明らかにしようとした。

この計算に用いたハツカダイコンの根重は 27.17 ± 1.58 g, 比重は 0.954 ± 0.0022 およびすいり指数は 1.78 ± 0.19 の平均値であつた。また計測値の幅は根重 12.65～55.41 g, 比重は 0.799～1.021 およびすいり指数 0～4 の範囲に分布していた。

さきにのべたようにすいり指数は肥大根をタテ、ヨコ斜めの方向から切断し、階級間隔を 0.2 の水準まで狭くしたので、比重や根重などの変量の小さい差と対応させることができた。第5表に示すようにすいり指数と比重の間には予想以上に高い相関係数の値を求めることができた。熊沢、西村らはわずかのすいりが比重に敏感に反映するとのべているが⁽¹¹⁾、本実験においてもこの事実が明らかにみとめられる。藤井らによつてきめられたすいり指数のうち、3以上の指数における空洞の大きさを過大評価しなければ、相関係数はほとんど1になり、完全な相関関係がなりたつものと思われた。したがつてすいりの測度としては、すいり面積や空洞の大きさより比重が最も妥当と思われるが、調査の簡便さからいえば藤井らの方法は捨てがたい。このことは、すの発現と肥大根の充実度との間に密接な関係があることを示している。WATTS (1960)⁽²⁰⁾ はハツカダイコンのすのはいりにくい品種を得る目的で、比重によつて個体選抜を重ね、耐す性品種を得たと報告している。この方法は当を得た育種法であることが理解される。

なお本研究で採用した偏相関解析の意義や計算の方法について CROXTON and COWDEN⁽¹⁾、EZKIEL⁽²⁾、FISHER⁽³⁾、佐藤⁽¹⁶⁾、SNEDCAR⁽¹⁷⁾ および渡辺⁽¹⁹⁾ の著書から得るところが大きかつた。

要 約

すいり程度と形質の変量との間における相関関係を明らかにしようとした。

すいり指数と可溶性物質濃度、根重などとの間で偏相関解析を行なつたが、栽培条件ないし季節などのわずかな相異により相関の程度が変化し、上記の形質間には一定の相関関係の存在を結論づけることはできなかつた。

すいり指数と抽苔との間には有意な相関係数は得られなかつた。

すいり指数と葉重との間の偏相関係数はすいり指数と T/R 率との偏相関係数に対応するので、すいりと T/R 率との関係に対する従来の知見に考察を加えた。すなわち、T/R 率の低下とすいりの進行との間の平行関係については肥大生長の過程を示す一つの指標となるが、生育期のある時点における両者の相関関係は必ずしも有意な相関係数を示さないことが明らかになった。むしろ肥大根の充実度ないし同化物の転流、蓄積の能率などを考慮することが重要である。

本実験では上記の事実を裏書きするように、すいり指数と比重との間に 0.9885 という著しく高い第一次偏相関係数が求められた。したがつて、すいり防止の点から比重の高い系統の育成と肥大根の充実する栽培条件の確立が肝要事となる。

本研究を行なうにあたり御指導をいただいた本学志佐誠教授、御鞭撻をいただいた京都大学塚本洋太郎教授、さらに研究の一部に協力を得た青山達敏氏（現愛知農試技師）に厚く御礼申し上げます。

引 用 文 献

1. CROXTON, F. E. and D. J. COWDEN, 1955. Applied general statistics. 2nd Ed. Prentice Hall Inc. New Jersey, U.S.A.
2. EZKIEL, M. 1953. Methods of correlation analysis. 2nd Ed. John Wiley & Sons, Inc. N. Y.
3. FISHER, R. A. 1950. Statistical methods for research workers. 11th Ed. Oliver & Boyd LTD. London.
4. 藤井健雄・吉江貞剛 1941. 根菜類の鬆入現象に関する研究（第1報）菜菔の発育と鬆の発現との関係 園学雑. 12: 63～77.
5. 藤村 良 1957. 根菜類のすいりに関する研究（第1報）二十日ダイコンのすいり発生経過について 園芸学研究集録. 8: 81～85.
6. 萩屋 薫 1952. 大根類のすいり現象の生理学的研究（第1報）生育に伴うすの発現経過について 園学雑. 21: 81～86.
7. ———. 1957 a. ———（第3報）すの発現に及ぼす栽培環境の影響について、同誌. 26: 111～120.

8. ———. 1957 b. ——— (第4報) 抽苔とすの発現との関係について, 同誌. 26:121~125
9. 萩原 十 1949. 大根の入りと掘取時期. 農及園. 24: 419~421.
10. 額綱理一郎 1938. 植物水分生理実験法. 43~52 生物学実験法講座 建文館.
11. 熊沢三郎・西村周一 1936. 東洋菜菔の品種分類並びに澱粉と比重. 園学雑. 7: 43~50.
12. 宮崎義光 1956. 大根のすいりに関する 2, 3 の実験. 農及園. 31: 1265~1266.
13. ODNOFF, C. 1961. The influence of boric acid and phenylboric acid on the root growth of bean (*Phaseolus vulgaris*). *Physiol. Plant.* 14: 187~220.
14. ———. 1963. The effect of gibberellin and phenylboric acid on xylem differentiation and epidermal cell elongation in bean roots. *Ibid.* 16: 474~483.
15. 斎藤邦八 1933. 大根の生長曲線並びにその 2, 3 の形質間の相関に就いて. 日作紀. 5: 410~421.
16. 佐藤良一郎 1950. 数理統計学. 増補版. 培風館
17. SNEDCOR, G. W. 1946. Statistical methods applied to experiments in agriculture and biology. The Iowa State College Press. U.S. A.
18. 玉井虎太郎・額綱理一郎 1933. 粉末比重ト比重トノ関係並びニ組織粉末法ニ於ケル粉末容積測定ノ確実サ. 植雑. 47: 632~639.
19. 渡辺義勝 1944. 最小自乗法及統計 丸善.
20. WATTS, L. E. 1960. The use of a new technique in breeding for solidity in radish. *J. Hort. Sci.* 35: 221~226.

抄 録

CO₂ 同化におよぼす生長調整物質の影響ならびに同化と萌芽との関係

著者らは、さきにインゲンに対する IAA の葉面散布が同化率に影響を与えることを報告した。今回はインゲンのほかイチゴ、フダンソウ、トウモロコシ、ヒマワリ、ダイズ、コムギなどに IAA の 10~20 mg/l を散布して同化率の促進効果をしらべた。その結果、いずれの作物も散布後 20~40 分間に 20~40% の同化率上昇を示した。唯一の例外はトウモロコシで、これはトウモロコシ葉が高い生産性を有することに関連があると推論される。

次に、IPA, IBA, NAA, GA, 2,4-D, カイネチン, DMSO など各種の生長調整物質をインゲンに散布して、同化率におよぼす影響をみたところ、IBA でわずかに上昇がみられたが、ほかの物質ではまったく上昇はみられなかった。このことから IAA は同化率の上昇に対して特異的作用を有すると考えられる。

またインゲンでは萌芽後の短時間に同化率の上昇がみ

られるが、これは芽の発達にともない芽で生成されるオーキシンが近くの葉に移動して同化率を高めるものと推定される。

そこでインゲンの頂小葉に IAA を散布してほかの二枚の小葉への影響をみたところ、前述のような効果がみとめられ、また頂小葉や萌芽ちゆうの芽を切除して、その部分に IAA を与えた場合も同じ効果がみられた。このことは果樹などで休眠後の萌芽につれて、近接する葉の同化率が高まるのと同じ反応と考えられ、芽で生成する IAA が葉に移動して同化率を高めるのが原因であることを示している。(織田弥三郎)

BIDWELL, R. G. S, and W. B. TURNER. 1966. Effect of growth regulators on CO₂ assimilation in leaves, and its correlation with the bud break response in photosynthesis. *Plant Physiol.* 41: 267~270.