

Der Einfluß der Stichprobengröße auf das Ergebnis einer Varianzanalyse bei gestreckten und gestauchten Mutanten von *Pisum sativum**

The Influence of the Sample Size upon the Result of an Analysis of Variance in Long-Stemmed and Short-Stemmed Mutants of *Pisum sativum*

Ernst Weber

Institut für Genetik der Universität Bonn

(Z. Naturforsch. **31 c**, 216–217 [1976]; eingegangen am 6. November 1975)

Sample Size, Analysis of Variance, Radiation Induced Mutants, *Pisum sativum*

The length of the epidermal cells at the 10th internode was studied by means of the analysis of variance in the normal type and 6 of each long-stemmed and short-stemmed mutants of *Pisum sativum*. The effect of samples of four different sizes on the result of the analysis of variance was investigated. It was found that, based on 78 comparisons of 13 means each, an increase of the sample size from $n=25$ to $n=100$ increases the significant differences from 53 to 64.

Bei röntgen- und neutroneninduzierten Mutanten von *Pisum sativum* treten häufig Genotypen mit geänderten Längenverhältnissen ihres Stengels auf¹. In einer umfangreichen Arbeit² wurde an Hand mehrerer morphologischer Merkmale die Frage untersucht, in welcher Weise die Stengelverkürzung oder -verlängerung bei verschiedenen Mutanten zustande kommt. Die Untersuchung erstreckte sich auf die Normalform (NF), auf 6 gestauchte (26,310, 12 A, 150 B, 500 B, 2669) und 6 gestreckte Mutanten (230 A, 489 C, 94 E, 2797 A, 75, 229 B). Die Mutanten wurden gemeinsam mit der NF varianzanalytisch mit anschließendem Duncan-Test bearbeitet. Die Befunde zeigen, daß die untersuchten Merkmale vielfach miteinander verflochten sein können, so daß die Variation der Stengellänge auf verschiedenen Wegen erreicht wird³.

Da die längenmäßigen Abweichungen der Mutanten von der NF mitunter beträchtlich sind, war zu erwarten, daß sich nicht nur die Mutanten von der NF, sondern daß sich auch unter den Mutanten verschiedene Genotypen abgrenzen ließen. Andererseits sind die Unterschiede zwischen den Mittelwerten bei Mutanten mit ähnlich großer Abweichung z. T. gering, so daß zu vermuten war, daß unterschiedlich große Stichproben auch eine unterschiedlich große

Anzahl von signifikanten Differenzen bei den Mittelwertsvergleichen zur Folge haben würden. Da sich also die Frage nach dem Stichprobenumfang bei dieser Arbeit in besonderem Maße stellte, wurde in einer Nebenuntersuchung der Stichprobenumfang wie folgt festgelegt.

Eines der untersuchten Merkmale – die Länge der Epidermiszellen am 10. Internodium – wurde beispielhaft viermal mit unterschiedlich besetzten Stichproben gerechnet ($n=100$, $n=75$, $n=50$, $n=25$). Die Stichprobe von 100 Messungen wurde für jede Mutante und die NF an je 10 Pflanzen erhoben. Die Epidermisproben wurden in der Blühperiode nach Abschluß des Wachstums an wenigen Tagen entnommen. Die schrittweise Reduktion der Stichprobe erfolgte nach zufälligen Gesichtspunkten. Der Varianzanalyse lief eine Prüfung auf Normalverteilung und Streuungsgleichheit (Bartlett-Test) voraus; dabei zeigte jede Gruppe für beide Prüfungen hochsignifikante Störungen bei einem Stichprobenumfang von $n=100$. Weniger zahlreich waren die Störungen beim Additivitäts-Test. Da eine lg-Transformation das Ergebnis der Varianzanalyse kaum veränderte, wurde mit den untransformierten Daten gerechnet⁴. Die Rechenprogramme liefen auf dem Großrechner der GMD Bonn, der Duncan-Test erfolgte per Hand mit Hilfe eines Tischrechners der Firma Diel. Die Mittelwerte haben die Dimension (mm), die tatsächliche Größe der Epidermiszellen ergibt sich nach Division mit dem Faktor 371. Obwohl sich bei den reduzierten Stichproben $n=75$, $n=50$, $n=25$ im mittleren Bereich der Mutanten die Reihenfolge der Mittelwerte leicht verschiebt, fassen wir wegen der besseren Übersicht alle Ergebnisse der vier Duncan-Tests in einer Tabelle zusammen, zumal sich die leicht geänderte Reihenfolge nicht auf die Einzelergebnisse auswirkt. Der \hat{F} -Wert aus der Varianzanalyse mit der Stichprobe $n=100$ beträgt 1285,06⁺⁺⁺.

In der Kopfleiste der Tabelle sind die Mutanten und die NF einzeln aufgeführt. Darunter stehen in 4 Zeilen die Mittelwerte für die unterschiedlich großen Stichproben. Am linken Rand sind lediglich die Mutanten aufgeführt, die Mittelwerte fehlen. Am Fuße der Tabelle stehen unter jeder Mutante die 4 R_p -Werte für die 4 verschiedenen Stichproben. Im Mittelteil sind nicht wie üblich die Differenzen der Mittelwerte vermerkt. Ein „+“ zeigt an, wieweit die signifikanten Abweichungen für alle 4 Stichproben reichen. Wo (100) steht, liegt für die Stichprobe $n=100$ und damit auch für alle kleineren Stichproben keine signifikante Differenz vor. Die

* Die vorliegende Untersuchung wurde im Rahmen eines Arbeitsprogramms durchgeführt, das vom Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft sowie von der Europäischen Atomgemeinschaft unterstützt wird. Sonderdruckanforderungen an Dr. Ernst Weber, Zoologisches Institut, Poppelsdorfer Schloß, D-5300 Bonn.

⁴ Herrn Prof. Weiling aus dem Institut für Landwirtschaftliche Botanik/Bonn danke ich für die statistische Beratung und die Bereitstellung von Rechenprogrammen.



Tab. Länge der Epidermiszellen am 10. Internodium. Vergleich der signifikanten Differenzen nach dem Duncan-Test ($p=0,05$) bei verschieden großen Stichproben.

Mutanten	229 B	94 E	2797 A	75	230 A	489 C	2669	150 B	NF	500 B	12 A	310	26
\bar{x} : ($n=100$)	59,10	53,12	50,80	50,47	49,84	49,31	48,72	45,16	39,50	34,14	33,52	23,36	20,35
($n=75$)	59,01	53,16	51,14	50,78	49,30	49,71	48,75	45,66	39,59	34,20	33,95	23,44	20,34
($n=50$)	57,44	52,98	51,49	51,13	48,83	49,68	50,30	45,97	39,83	34,83	34,10	23,36	20,33
($n=25$)	58,18	54,34	51,50	51,67	49,50	48,69	50,00	45,00	40,49	34,96	34,22	23,89	20,63
229 B	—	(50)	(25)	(25)	+	+	+	+	+	+	+	+	+
94 E	—	—	(100)	(100)	(100)	(75)	(50)	+	+	+	+	+	+
2797 A	—	—	—	(100)	(100)	(100)	(100)	+	+	+	+	+	+
75	—	—	—	—	(100)	(100)	(100)	+	+	+	+	+	+
230 A	—	—	—	—	—	(100)	(100)	(75)	+	+	+	+	+
489 C	—	—	—	—	—	—	(100)	(50)	+	+	+	+	+
2669	—	—	—	—	—	—	—	(75)	+	+	+	+	+
150 B	—	—	—	—	—	—	—	—	(25)	+	+	+	+
NF	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(25)	+	+	+
500 B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(100)	+	+
12 A	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+	+
310	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	(75)
p	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	
R_p -Werte: ($n=100$)	3,50	3,48	3,45	3,43	3,40	3,36	3,32	3,27	3,21	3,14	3,05	2,88	
($n=75$)	4,04	4,02	3,99	3,96	3,93	3,89	3,84	3,78	3,71	3,63	3,51	3,33	
($n=50$)	5,05	5,02	4,98	4,94	4,90	4,85	4,79	4,72	4,63	4,53	4,38	4,16	
($n=25$)	6,78	6,74	6,70	6,65	6,59	6,52	6,44	6,35	6,23	6,09	5,89	5,59	

gleiche Lesart gilt für die übrigen Stichproben (75), (50), (25). Insgesamt gab es bei jedem Duncan-Test 78 Mittelwertvergleiche⁴.

Ein Blick auf die Tabelle verdeutlicht, daß die Mittelwerte einer Gruppe nur geringfügig schwanken. Um so mehr fallen die Differenzen der R_p -Werte ins Auge. Die Reduktion des Stichprobenumfangs von $n=100$ auf $n=25$ hebt die R_p -Werte um 100% (!) an. Es verwundert darum nicht, daß die Anzahl der signifikanten Unterschiede mit kleinerem Stichprobenumfang abnimmt:

64 für $n=100$, 60 für $n=75$,
57 für $n=50$, 53 für $n=25$.

Bei einem Umfang der Einzelstichprobe von $n=25$ unterscheiden sich die Mutanten 150 B und 500 B

nicht von der NF. Erhöht man die Stichprobe auf $n=50$, so erwiesen sich alle Mutanten als verschieden von der NF. Bei einer weiteren Vergrößerung der Stichprobe steigt erwartungsgemäß die Anzahl der genotypischen Auftrennungen der Mutanten untereinander an. Das bedeutet, daß die betreffenden Mutanten durch die Strahlung an unterschiedlichen Plätzen ihres Genoms geschädigt worden sind. Um allerdings die Anzahl der signifikanten Differenzen von 57 ($n=50$) auf 64 ($n=100$) anzuheben, bedarf es einer Verdoppelung der Stichprobe von insgesamt 7500 auf 13000 Epidermiszellen. Obwohl dieser Aufwand beträchtlich ist, wurde die Stichprobe wegen des günstigen Ergebnisses auch bei den anderen untersuchten Variablen auf $n=100$ festgesetzt.

¹ W. Gottschalk, Bot. Studien **14**, 1–359 [1964].

² E. Weber, Untersuchungen zum Längenwachstum von 12 strahleninduzierten, gestreckten oder gestauchten Mutanten von *Pisum sativum*. Diplomarbeit naturw. Fak. Univ. Bonn; 158 pp (1970).

³ E. Weber u. W. Gottschalk, Beitr. Biol. Pflanzen **49**, 101–126 [1973].

⁴ E. Weber, Grundriß der biologischen Statistik, 6. Aufl., Jena 1967.

