

## PROBLEMS OF CROP ROTATION EXPERIMENTS IN RESEARCHES OF PROFESSOR TADEUSZ PRZYBYSZ

**Urszula Bronowicka-Mielniczuk, Mirosława Wesołowska-Janczarek**

Department of Applied Mathematics and Computer Science  
University of Life Sciences in Lublin  
ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin  
e-mails: urszula.bronowicka@up.lublin.pl  
mirosława.wesolowska@up.lublin.pl

### Summary

This paper is a selective review on some of the most important contributions of Professor Tadeusz Przybyśz in the field of crop rotation experiments. Among the many works in the field, we mention four of his papers (Przybyśz 1976a, 1982a, 1985b, 1987), that are the most valuable in our opinion.

At the first paragraph, we remind major problems of Professors scientific studies. The second paragraph contains crucial facts in respect to crop rotation experiments. The third part is devoted to analysis of crop rotation experiments; two cases of interest are distinguished here: experiments with the test crop and experiments including yields transformed into the same units.

The article is supplemented by complete list of publications by Professor Tadeusz Przybyśz.

**Key words and phrases:** crop rotation experiment, mathematical model, crop test

**Classification AMS 2000:** 62P10, 62K10

### 1. Scientific studies issues

Professor Tadeusz Przybyśz scientific interests focused on the theory of experiment, biometry, statistics and many aspects of its applications, especially

within the sphere of agricultural sciences. His contribution to this area encompasses various aspects of the problems concerning with the theory of field experiment. Initial studies were focused on analysis of long-term experiments with annual and long-term crops (Przybysz 1964b, 1964c, 1967, 1968). The papers Przybysz (1964b, 1964c) made original and substantial contribution in the field of single and multiple-experiments based on split-plot design. At the sphere of Professor interests we found all three conceptual classes of linear models: fixed, random and mixed.

Crop rotation trials have been a topic of considerable interest. He paid particular attention to application of incomplete block designs to planning and analysis of crop rotation trials (Przybysz, 1975, 1976b). Statistical methods for comparison of crop rotations became his habilitation thesis. He has been awarded in recognition of his pioneering and noteworthy work (Przybysz, 1976a). An area of Professor research includes experimental schemes, mathematical models for crop rotation experiments and statistical analysis for these experiments with equal and unequal number of replications. He considered both: the analysis of variance (Przybysz, 1981, 1982a, 1982b, 1982c) and covariance (Kuna and Przybysz, 1984; Przybysz, 1987). Some of his works have also been focused on the profile analysis (Przybysz, Wojcieszuk, 1996a, 1996b). His investigations covered different methods to elaborate outcomes of crop rotations (eg. transformed yields, yields of test crop) (Przybysz, 1988, 1990).

His interest in crop rotation design continued throughout his life. The last decade has resulted in a series of papers on efficiency of crop rotation designs (Przybysz et al. 1997, 1998, 1999a, 1999c; Bronowicka-Mielniczuk et al. 1999). In particular, appropriate criterion for evaluating rotation designs has been established on the basis of fundamental ideas for incomplete block designs. Much of the work was undertaken to deal with cyclic designs. A variety of results on this topic have been achieved, among others, by Przybysz et al. (1999b) and Bronowicka-Mielniczuk et al. (2000).

Professor Przybysz scientific achievements include many papers resulting from cooperation with agricultural practitioners and theorists (Styk, Przybysz, 1967, 1968; Dobrzański et al. 1968; Malicki, Przybysz, 1985; Przybysz, Malicki, 1996). Most of his works centres on real experiments.

In closing, noteworthy papers concerning applications of regression analysis and multivariate covariance analysis with respect of zero-one variables in

technical and economical problems (Przybysz, 1999, 2000; Przybysz, Wojnar, 2000), should be mentioned.

## **2. Introduction to crop rotations problems**

In this section we recall some notions related to crop rotations. The following remarks will help to clarify some of the issues.

Crop rotation is one of the oldest and most effective cultural control strategies. The term "rotation of crops" is used to designate a system of recurring succession of plants covering a regular period of years, and maintained on alternating fields of the farm. Such a system generally maintains productivity, aids in keeping soil structure favourable, eliminates weeds, pests and crop diseases and tends to reduce erosion. A good selection of possible crop rotation becomes an essential problem. The decision should take into account both agroecological conditions (e.g. the climate, topography, soil type, available technology) and economical results of use the crop rotations.

A history of crop rotations experiments dates back to the 19<sup>th</sup> century. Field experiments conducted at Rothamsted Experimental Station were probably the first crop rotation experiments of note. At the first studies on crop rotations, we found only analysis of real crop rotation experiments outcomes (Fisher, 1935; Cochran, 1939). At later literature (Yates, 1949, 1954; Patterson, 1964) the model for crop rotation experiments has not been precisely described, either. Prof. Tadeusz Przybysz was a pioneer in undertaking this problem in Poland and proposed for crop rotation experiments modified mathematical model based on classical split-block design (Przybysz, 1976a). It should be emphasized that earlier publications (Yates, 1949; Patterson, 1964) did not indicate explicitly the components for crop rotations effects.

## **3. A comparison of crop rotations**

A valuation method remains an important concern in statistical comparison of crop rotations. One way is as follows: only yields for one selected species of plants are analysed. Such a crop is treated as a test crop; other species of plants

are intentionally omitted in the analysis. The other possibility is to use yields from all species of plants converted into the same units (e.g. corn units) (Przybysz, 1985b). Another method assumes scoring-based evaluation of crop rotation stands (Wawelski, 1964; Filipiak, Krzymuski, 1986).

Subsequently we shall turn our attention to statistical methods based on the test crop and transformed yields. Linear models described below are determined by the approach undertaken. It is worth noticing that alternative rotation schemes can be of equal (Przybysz, 1981) or unequal (Przybysz, 1976a, 1982c) rotation lengths. Other methods have been described in Przybysz (1988). As usually, evaluation studies focused on treatment (sequence or rotation) effects.

### **3.1. Mathematical model for crop rotation experiments based on the test crop**

Section 3 deals with linear models associated with crop rotation experiments. In this area two papers ought to be mentioned (Przybysz, 1976a, 1982a). The following assumptions underlie the method and offer methodological comments:

1. The crop rotations should contain so-called test crop during the full rotation. Selection of the test crop depends on a goal of the crop rotation.
2. The experiment ought to start with all crops in each rotation. Then, test crop occurs in every year at least on one of the field from the compared crop rotations.
3. Different sequences of species create various levels of soil fertility in the plots. The sequences are treated as the objects.
4. During the full rotation every object from the first crop rotation should meet with every object from the second crop rotation.
5. The procedure preceding experiment requires preliminary experiment, which prepares suitable post for the crops.
6. The length of time over which the experiment is conducted equals the least common multiple of rotation lengths.
7. Statistical study is based on test crop yields.

Mentioned papers (Przybysz, 1976a, 1982a) include illustrative patterns for comparison of different crop rotations: 6-field with 5 and 4-field one (each with two options for the distribution of test crop); 3-field with 5-field one (in two

options); 3-field with 4-field one. Scheme of experiment is represented by plot versus years incidence matrix  $\mathbf{G}$ . Notably, treating years as blocks we obtain the usual incidence matrix for incomplete block design; "one" indicates the occurrence of the test crop, zero is referred to other species.

For describing such experiment modified split-block mathematical model was proposed (Przybysz, 1976a, 1982b, 1982c). The cross classification of factor  $A$  (objects-plots) and factor  $B$  (years) was applied. Plots determine one way of classification, the second way of classification is specified by successive years of experiment period. The modification of the model consists in fact that not all levels of  $A$  classification have been present in particular years.

The linear model adequate for such experiment has been described in following form:

$$y_{ijk} = \mu + \rho_i + \alpha_j + e_{ij} + \beta_k + \gamma_{ik} + \varphi_{jk} + e_{ijk}, \quad (3.1.1)$$

where  $\mu$  denotes the mean value,  $\rho_i$ ,  $\alpha_j$ ,  $\beta_k$  are the fixed effects of  $i$ -th replication ( $i = 1, 2, \dots, r$ ),  $j$ -th plot ( $j = 1, 2, \dots, a$ ),  $k$ -th year ( $k = 1, 2, \dots, b$ ), respectively.  $\gamma_{ik}$  and  $\varphi_{jk}$  are interaction effects of considered factors. Components  $e_{ij}$ ,  $e_{ijk}$  denote experimental errors, which are assumed to be normally distributed and uncorrelated.

Proposed model has the following matrix form:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{J}_N \mu + \mathbf{X}_R \rho + \mathbf{X}_A \alpha + \mathbf{X}_B \beta + \mathbf{X}_{BR} \gamma + \mathbf{X}_{AB} \varphi + \mathbf{X}_1 \mathbf{e}_1 + \mathbf{X}_2 \mathbf{e}_2. \quad (3.1.2)$$

The estimators for the parameters in the model (3.1.2) were obtained by the least square method.

Expected values of mean squares have been shown and the way of testing associated hypotheses has been derived, too.

### 3.2. Mathematical model for crop rotation experiments based on the transformed yields

One of the ways to evaluate and compare various crop rotations is applying the yields of all species converted into the same units. Disadvantage of this method is lack of suitable conversion units for some plants species, whereas advantage is possibility to compare crop rotation without restrictions on length and species of plants in rotation. A variety of results on this topic have been established by Przybysz (1985b) and (1990).

In the presented approach, compared crop rotations are treated as factor  $A$ ;  $A_j$ ,  $j = 1, \dots, a$  denotes the  $j$ th crop rotation. Within each rotation  $A_j$  there are hierarchical subordinated plots  $B_k$ ,  $k = 1, \dots, b_j$ ,  $B(A)_{jk}$  in symbols, where  $k$  denotes the plot number,  $b_j$  is equal to number of  $j$ th rotation plots. Each block  $R_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, r$  includes  $d = \sum_j b_j$  rotation plots, while the number of all observations in single year equals  $n = dr$ . The experiment of this kind is carried out during  $c$  years, and this gives the third way of classification  $C_l$ -years,  $l = 1, \dots, c$ . Years, crop rotations and rotation plots create a combination of hierarchical and cross classification. The number of all the observations in experiment is equal to  $N = cn$ .

Then, the following linear model was proposed:

$$y_{ijkl} = \mu + \rho_i + \alpha_j + \beta(\alpha)_{jk} + e_{ijk} + \gamma_l + (\alpha\gamma)_{jl} + \beta(\alpha)\gamma_{jkl} + e_{ijkl}, \quad (3.2.1)$$

where  $y_{ijkl}$  describe individual yield with transformed units,  $\mu$  is overall mean,  $\rho_i$ ,  $\alpha_j$ ,  $\gamma_l$  are blocks, rotations and years effects, respectively. An effect of  $k$ th plot into  $j$ th rotation is signified by  $\beta(\alpha)_{jk}$ ;  $(\alpha\gamma)_{jl}$ ,  $\beta(\alpha)\gamma_{jkl}$  are appropriate interaction effects. The components  $e_{ijk}$  and  $e_{ijkl}$  represent experimental random errors.

The model (3.2.1) can be stated in matrix form as:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\Theta} + \mathbf{X}_1\mathbf{e}_1 + \mathbf{Ie}_2, \quad (3.2.2)$$

where  $\mathbf{X} = [\mathbf{1}_N : \mathbf{X}_R : \mathbf{X}_A : \mathbf{X}_{BA} : \mathbf{X}_C : \mathbf{X}_{AC} : \mathbf{X}_{BAC}]$  is design matrix, its pattern depends on arrangement observation in vector  $\mathbf{Y}$  according to order  $(k, j, i, l)$ .

$\Theta$  is the parameter vector in the form  $\Theta = [\mu : \rho : \alpha : \beta\alpha : \gamma : \alpha\gamma : \beta\alpha\gamma]$ , whereas random errors  $\mathbf{e}_1$  and  $\mathbf{e}_2$  have the independent normal distributions.

Details concerning suitable estimators are included in the papers Przybysz (1985b, 1990). Additionally, appropriate forms of test functions and confidence limits have been derived.

### 3.3. Analysis of covariance in rotation experiments

Problems connected with the comparing various crop rotations (based on the transformed yields) with use of analyses of covariance were continued in the paper by Przybysz (1987). Linear model for analysis of covariance in crop rotation experiment based on combination of hierarchical and cross classification was presented in mentioned paper. Description of this kind of experiment was shown in the previous paragraph. A starting point for considerations was observation, that appearance of new supplementary variables (concomitant) is possible during experiment. Proposed linear model for analysis of covariance referred to this situation is of the form:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\Theta + \mathbf{T}\delta + \mathbf{X}_1\mathbf{e}_1 + \mathbf{Ie}_2, \quad (3.3.1)$$

where  $\mathbf{X} = [\mathbf{J} : \mathbf{X}_R : \mathbf{X}_A : \mathbf{X}_{B(A)} : \mathbf{X}_C : \mathbf{X}_{AC} : \mathbf{X}_{B(A)C}]$  is the design matrix with appropriate arrangement of observation vector  $\mathbf{Y}$ , blocks matrices  $\mathbf{X}_{(\cdot)}$  are associated with respective sources of variance at covariance analysis. Vector of parameters  $\Theta = [\mu : \rho' : \alpha' : \beta' : \gamma' : \varphi' : \tau']$  is composed of vectors corresponding to blocks matrices. Matrix  $\mathbf{T} = [\mathbf{Z}_1 : \mathbf{Z}_2]$  refers to the set of independent concomitant variables, division of vector of regression coefficients  $\delta = [\delta'_1 : \delta'_2]$  correspond to division of matrix  $\mathbf{T}$ . Symbols  $\mathbf{e}_1$  and  $\mathbf{e}_2$  represent the random errors, normally and independent distributed. With regard to model (3.3.1) details concerning normal equations, estimates of parameters, regression vectors and tests of hypothesis have been presented in above-mentioned paper. The adjusted sums of squares in analysis of covariance have been constructed with the aid of projection operators.

#### 4. Resume

Each crop rotation experiment has its own unique set of issues in planning, designing and analysis. Prof. Tadeusz Przybysz research had a major impact on the modelling and analysis of crop rotation experiments. Depending on methodological assumptions of valuation of crop rotations (yields of test crop, yields converted into the same units) he formulated various models for analysis of crop rotation experiments. He presented both analysis of variance and covariance for such experiments.

Much of the literature contributed by Przybysz devoted to the theory of crop rotations. Over the years, his focus has shifted toward theory of incomplete block designs. His primary areas of interest were concentrated on issues related to efficiency. This work has resulted in a novel findings related to effectiveness and connectivity of designs with a test crop. These characteristics are of practical importance, by providing statistical properties of experimental designs.

#### References

- Cochran W. G. (1939). Long-term agricultural experiments. *Journal of Royal Stat. Society (Suppl.)* 6, 104–148.
- Filipiak K., Krzymuski J. (1986). Kompleksowa metoda oceny płodozmianów. *Szesnaste Colloquium Metodologiczne w Agrobiometrii*, 97-109.
- Fisher R.A. (1935). *The design of experiment*. The design of experiment. Oliver & Boyd, Edinburgh.
- List of publications by Prof. Tadeusz Przybysz.
- Patterson H.D. (1964). Theory of cyclic rotation experiments. *Journal of Royal Stat. Society Ser.B* 26, 1-45.
- Wawelski K. (1964). Metoda punktowej wyceny wartości stanowisk. *Pamiętnik Puławski* , 14, 57-82.
- Yates F. (1949). The design of rotation experiments. Commonwealth Bureau of Soil Science, *Technical Communications* No 46, 142-155.
- Yates F. (1954). The analysis of experiments containing different crop rotations. *Biometrics* 10, 324-346.



**List of publications by Prof. Tadeusz Przybysz in chronological order**

1. Przybysz T. (1964a). O niejednorodnym błędzie w analizie wariancji kwadratu łacińskiego w modelu z pojedynczo rozszczepionymi poletkami. *Annales UMCS*, Sec. E, vol. XIX, 299-306.
2. Przybysz T. (1964b). Pojedyncze i wielokrotne doświadczenia oparte na zasadzie rozszczepionych poletek. Część I. Analiza wariancji. *Annales UMCS*, sec. E, vol. XIX, 1, 307-332.
3. Przybysz T. (1964c). *Pojedyncze i wielokrotne doświadczenia oparte na zasadzie rozszczepionych poletek*. Praca doktorska in extenso, maszynopis.
4. Przybysz T. (1967). Analiza statystyczna doświadczenia z roślinami wieloletnimi w układzie bloków losowych. *Annales UMCS*, Sec. E., vol. XXII, 141-148.
5. Styk B., Przybysz T. (1967). Plon zielonej masy i nasion kilku gatunków roślin strączkowych w zależności od ilości ich wysiewu. *Biuletyn IHAR*, nr 5, 77-81.
6. Dobrzański B., T. Przybysz, Szot B. (1968). Zależność plonowania włókna lnu od typologii, zasobności i bonitacji gleb. *Annales UMCS*, Sec. E, vol. XXIII, 69-76.
7. Przybysz T. (1968). Schematy doświadczeń bloków losowych i rozszczepionych poletek z roślinami wieloletnimi. *Annales UMCS*, Sec. E, vol. XXII, 123-140.
8. Styk B., Przybysz T. (1968). Wpływ następczy niektórych roślin strączkowych (wyka, peluszka, lędźwian afrykański, lędźwian siewny) na plon pszenicy ozimej. *Annales UMCS*, Sec., vol. XXIII, 87-95.
9. Przybysz T., Dobrzański B. (1969). The application of a statistical model for proportional data in pedagogical studies. *Polish Journ. of Soil Sc.* vol. II, No 1, 81-86.
10. Turski R., T. Przybysz, Sysa J. (1969). Zróżnicowanie zawartości przyswajalnych  $P_2O_5$  i  $K_2O$  w poziomie  $A_1$  gleb niektórych kompleksów glebowo-rolniczych. *Annales UMCS*, Sec. E, vol. XXIV, 41-53.
11. Przybysz T., Turski R. (1971). Zastosowanie modelu statystycznego dla danych proporcjonalnych z restrykcjami nieważonymi w badaniach gleboznawczych. *Annales UMCS*, Sec. E., vol. XXVI, 397-405.
12. Przybysz T. (1975). Porównywanie płodozmianów za pomocą analizy wariancji. *V Colloquium z Agrobiometrii*, Warszawa, PAN, 108-124.
13. Przybysz T. (1976a). *Statystyczne metody porównywania płodozmianów*. Praca habilitacyjna in extenso. Rozprawy Naukowe AR w Lublinie, 39, str. 1-57.
14. Przybysz T. (1976b). Układy doświadczalne i ich planowanie. *Wiadomości Parazytologiczne*, t. XXII, 663-678.
15. Przybysz T. (1977). Ocena wariancji efektów interakcyjnych w modelu z rozszczepionymi jednostkami eksperymentalnymi. *VIII Colloquium z Agrobiometrii*, Warszawa, PAN, 290-297.
16. Przybysz T. (1979). Dopasowanie prostej według najmniejszych odległości. *IX Colloquium z Agrobiometrii*, Warszawa, PAN, 288-296.
17. Przybysz T. (1980). Dopasowanie prostej metodą najmniejszych kwadratów odległości ortogonalnych. *Roczniki Nauk Rolniczych*, seria C, t. 74, 133-141.
18. Przybysz T. (1981). Porównywanie dwóch płodozmianów o tej samej długości rotacji. *Listy Biometryczne*, 75, 1-21.
19. Przybysz T. (1982a). Analiza wariancji doświadczeń płodozmianowych. *Roczniki Nauk Rolniczych*, Seria A, t. 105, 29-37.
20. Przybysz T. (1982b). Modele matematyczne doświadczeń płodozmianowych. *Roczniki Nauk Rolniczych*, seria A, t. 105, 17-28.
21. Przybysz T. (1982c). Schematy eksperymentalne doświadczeń płodozmianowych. *Roczniki Nauk Rolniczych*, seria A, t. 105, 7-15.

22. Kuna I., Przybysz T. (1984). Estymacja parametrów w modelu liniowym analizy kowariancji dla doświadczeń płodozmianowych. *XIV Coll. z Agrobiometrii*, Warszawa, PAN, 244-254.
23. Osypiuk E., Przybysz T. (1984). Istotność zróżnicowania liczebności w dwuwymiarowej tablicy kontyngencji. *XIV Colloquium z Agrobiometrii*, PAN, 309-320.
24. Malicki L., Przybysz T. (1985). Statystyczne modele doświadczeń polowych z nawadnianiem roślin. *Zeszyty problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, z. 294, 423-437.
25. Przybysz T. (1985a). Hierarchical linear model in rotation experiments. *Folia Societatis Scientiarum Lublinensis*, vol. 27, 49-53.
26. Przybysz T. (1985b). Model liniowy kombinacji klasyfikacji krzyżowej z hierarchiczną w doświadczeniach płodozmianowych. *XV Colloquium z Agrobiometrii*, PAN, Warszawa, 58-64.
27. Kuna I., Przybysz T. (1986). Ocena i testowanie efektów płodozmianowych. *XVI Colloquium z Agrobiometrii*, PAN, Warszawa, 118-126.
28. Przybysz T. (1987). Porównywanie płodozmianów za pomocą analizy kowariancji. *XVII Colloquium z Agrobiometrii*, PAN, Warszawa, 128-146.
29. Przybysz T. (1988). Metody statystycznej analizy wyników doświadczeń płodozmianowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 331, 41-53.
30. Przybysz T., Jezior B. (1988). Ocena i testowanie efektów rotacyjnych w doświadczeniach płodozmianowych. *XVIII Colloquium z Agrobiometrii*, PAN, Warszawa, 178-186.
31. Przybysz T. (1989). Some remarks on crop rotation experiments. *47<sup>th</sup> Session of the International Statistical Institute*, Paris, Abstracts, vol 2, 226-227.
32. Przybysz T. (1990). Ocena płodozmianów za pomocą analizy wariancji na podstawie plonów przeliczeniowych. *Roczniki Nauk Rolniczych*, Seria A. t. 109, z. 1, 19-32.
33. Milczak H., Osypiuk E., Przybysz T. (1993). Zastosowanie regresji wielu zmiennych i analizy korelacji kanonicznej w opracowaniu wyników doświadczenia rodowego pszen-żyta. *XXIII Colloquium Agrobiometryczne*, 256-272.
34. Przybysz T., Wojcieszuk D. (1993). Analiza profilowa dla doświadczeń płodozmianowych. *XXIII Colloquium Metodologiczne z Agrobiometrii*, 246-255.
35. Przybysz T. (1993). Planowanie i analiza statystyczna wieloczynnikowych doświadczeń nawozowych. *Zeszyty Naukowe AR w Krakowie*, z. 37, cz. II, 391-405.
36. Milczak H., Osypiuk E., Przybysz T. (1994). Próba wyznaczenia zmiennych plonotwórczych na podstawie analizy trzyletniego doświadczenia rodowego z pszen-żytem. *XXIV Colloquium Metodologiczne z Agrobiometrii*, 231-237.
37. Kuna-Broniowska I., Osypiuk E., Przybysz T. (1995). Analiza doświadczenia z obiektem kontrolnym w układzie rozszczepionych poletek. *XXV Colloquium Biometryczne*, 150-163.
38. Milczak H., Osypiuk E., Przybysz T. (1995). Zastosowanie wielowymiarowych metod statystycznych do analizy wyników doświadczenia. *Roczniki Nauk Rolniczych*, Seria A, T. 111, z. 3-4, 139-149.
39. Kuna-Broniowska I., Osypiuk E., Przybysz T. (1996). Analiza kowariancji doświadczenia z obiektem kontrolnym w układzie z rozszczepionymi poletkami. *XXVI Colloquium Biometryczne*, 115-126.
40. Przybysz T., Malicki L. (1996). Eksperyment polowy jako element rozwiązywania zagadnień badawczych w zakresie nauki o płodozmianach. *Fragmenta Agronomica*, t. XII, Nr 13(41), 102-117.
41. Przybysz T., Wojcieszuk D. (1996a). Profile analysis in crop rotation experiments. *Tatra Mountains Mathematical Publications*, vol. 7, 171-176.
42. Przybysz T., Wojcieszuk D. (1996b). Wielozmienna analiza doświadczeń płodozmianowych. *XXVI Colloquium Biometryczne*, 284-291.
43. Kuna-Broniowska I., Przybysz T. (1997). The analysis of the reparametrized linear model for hierarchical design with control. *51<sup>st</sup> Session of The International Statistical Institute*, Istanbuł, Abstracts, p. 115-116.

44. Przybysz T., Bronowicka-Mielniczuk U., Mielniczuk J. (1997). Efektywność układów doświadczeń płodozmianowych o równej liczbie replikacji. *XXVII Colloquium Biometryczne*, 110-126.
45. Przybysz T., Bronowicka-Mielniczuk U., Mielniczuk J. (1998). Efficiency factors for crop rotation designs, *XXVIII Colloquium Biometryczne*, 98-107.
46. Bronowicka-Mielniczuk U., Mielniczuk J., Przybysz T. (1999). Efficiency of cropping system designs via dual designs. *Biometrical Letters*, 36, No 2, 127-135.
47. Kuna-Broniowska I., Przybysz T. (1999). The analysis of the hierarchical classification in split-plot design with respect to control. *XXIX Colloquium Biometryczne*, 53-65.
48. Przybysz T., Bronowicka-Mielniczuk U., Mielniczuk J. (1999a). Efficiency of crop rotation designs with unequal numbers of replications. *Tatra Mountains Mathematical Publications*, vol. 17, 177-184.
49. Przybysz T., Bronowicka-Mielniczuk U., Mielniczuk J. (1999b). On some property of cyclic designs related to crop rotation experiments. *XXIX Colloquium Biometryczne*, 172-178.
50. Przybysz T., Bronowicka-Mielniczuk U., Mielniczuk J. (1999c). On the efficiency of supplemented designs related to the crop rotation experiments. *Bulletin of the International statistical Institute 52<sup>nd</sup> Session*, Helsinki, Contributed Papers, v. LVIII Book 2, 299-300.
51. Przybysz T. (1999). Zastosowanie regresji zero-jedynkowej w badaniach rolniczych. *XXIX Colloquium Biometryczne*, 293-308.
52. Bronowicka-Mielniczuk U., Mielniczuk J., Przybysz T. (2000). Efficiency of cropping system designs via base contrast. *Applicationes Mathematicae*, 27, 377-384.
53. Przybysz T. (2000). Zmienne zero-jedynkowe w analizie kowariancji. *Bibliotheca Fragmenta Agronomica* 7, 141-147.
54. Przybysz T., Wojnar J. (2000). Zastosowanie regresji zero-jedynkowej do analizy danych eksperymentalnych. *XXX Colloquium Biometryczne*, 321-332.
55. Przybysz T., Kamińska A. (2002) An example of application of variance stabilizing transformations in linear regression model. *Scientific Papers of Agricultural University of Poznań, Agriculture*, 3, 75-82.
56. Przybysz T., Borowiec J., Kamińska A. (2003). Próba statystycznej interpretacji wyników badań chemizmu siedlisk łąkowych Lubelszczyzny, *Annales UMCS*, Vol. LVIII, Sec. E, 79-92.
57. Przybysz T. (2007). *Elementy ekonomii matematycznej i matematyki finansowej*, WSZiA, Zamość.

### Other publications – papers and announcements

1. Przybysz T. (1965). O pewnym modelu mieszanym – referat. Zjazd Polskiego Towarzystwa Biometrycznego, Wrocław 1965, *Listy Biometryczne* 1966 – streszczenie.
2. Przybysz T. (1968). Schematy doświadczeń z roślinami wieloletnimi – referat. Zjazd Polskiego Towarzystwa Biometrycznego, Wrocław 1968, *Listy Biometryczne* 1968 – streszczenie.
3. Przybysz T. (1973). *Metody nauczania matematyki w akademiach rolniczych*. Międzyuczelniany Ośrodek Metodyczny Akademii Rolniczych w Warszawie, 71-98.
4. Przybysz T. (1974). Doświadczenia płodozmianowe ze skorelowanym błędami. *IV Colloquium z Agrobiometrii*, Warszawa, PAN, streszczenie, 404.
5. Przybysz T. Szot B. (1976). Statystyczne kryteria oceny dorodności ziarn zbóż. *Międzynarodowa Konferencja nt. Fizyczne właściwości materiałów roślinnych*, Lublin, 1976; streszczenie. Wyd. PAN, Warszawa 1976.
6. Przybysz T. (1976). Wariacje porównań efektów wariacyjnych. *V Ogólnopolska Konferencja Zastosowań Matematyki*. Warszawa, PAN, streszczenie.

7. Oktaba W., Niewczas J., Przybysz T. i inni (1978). *Program komputeryzacji uczelni rolniczych*. Lublin, Wyd. AR, 1-53.
8. Przybysz T. (1979). Variance of interaction effects in split plot designs. *12th European Meeting of Statisticians*. Varna 1979, Abstracts, 190.
9. Przybysz T. (1985). Hierarchical linear model in rotation experiments. *Abstracts of the First European Biometric Conference of the Biometric Society*, Budapest, 125.
10. Przybysz T. (1986). Covariance analysis in rotation experiments. *Abstracts of the First World Congress of the Bernoulli Society*, Taszkent, vol. 1, 121.
11. Przybysz T. (1988). The analysis of rotation experimental data. *First International Conference on Optimal Design*. Neuchatel, Abstracts, 56.
12. Przybysz T. (1992). *Słownik Agro-Bio-Techniczny*, 4 tomy, polski-angielski-czeski-francuski-niemiecki-rosyjski. Kierownik działu. Statystyka matematyczna i doświadczalnictwo; autor hasel z doświadczalnictwa. Polskie Towarzystwo Nauk Agrotechnicznych, Lublin.
13. Przybysz T., Wojcieszuk D. (1994). Profile analysis in crop rotation experiments. *Abstracts International Conference on Mathematical Statistics*, Probastat'94, Slovakia, 34, referat.
14. Kuna-Broniowska I., Osypiuk E., Przybysz T. (1995). Analysis of variance method in the split-plot design with respect to a control. *21st European Meeting of Statistics*, Aarhus, Programme and Abstracts, 198, referat.
15. Przybysz T., Wojcieszuk D. (1995). Multivariate analysis of crop rotation experiments *21st European Meeting of Statistics*, Aarhus, Programme and Abstracts, 242.
16. Kuna-Broniowska I., Osypiuk E., Przybysz T. (1996). Covariance method in the split-plot design with respect to a control. *The International Biometric Conference*, Amsterdam, Contributed Papers, 328, referat.
17. Przybysz T., Kuna-Broniowska I. (1997). The analysis of the reparametrized linear model. *The International Statistical Conference*, Istanbuł, Abstracts.
18. Przybysz T., Bronowicka-Mielniczuk U., Mielniczuk J. (1997). Efficiency of crop rotation designs with the same number of replications. *Abstracts of XXVII International Biometrical Colloquium*, Poland, 41.
19. Przybysz T., Bronowicka-Mielniczuk U., Mielniczuk J. (1998). Efficiency of crop rotation designs with unequal number of replications. *Abstracts of XXVIII International Biometrical Colloquium*, Poland, 81-82.
20. Przybysz T., Bronowicka-Mielniczuk U., Mielniczuk J. (1998). Efficiency of crop rotation designs with equal and different number of replication. *Abstracts International Conference on Mathematical Statistics*, Probastat'98 Slovakia, 26, referat.
21. Przybysz T., Bronowicka-Mielniczuk U., Mielniczuk J. (1998). Efficiency factors for crop rotation designs. *Abstracts of XXVIII International Biometrical Colloquium*, 80, referat.
22. Przybysz T. (1999). Application of dummy regression to agricultural research. *Abstracts of XXIX International Biometrical Colloquium*, 31.
23. Przybysz T., Bronowicka-Mielniczuk U., Mielniczuk J. (1999). On some property of cyclic designs related to crop rotation experiments. *Abstracts of XXIX International Colloquium*, 32.
24. Przybysz T., Kamińska A. (2000). Zastosowanie regresji zero-jedynkowej w technice. Abstracts in Jubilee International Scientific XXX Years of Agricultural Engineering Faculty at Agricultural University of Lublin, 156-157.
25. Przybysz T. (2000). Zero-one variables in analysis of covariance. Summaries of communications, *Biometrical Letters*, vol. 37, No 1, 59.

## PROBLEMY DOŚWIADCZEŃ PŁODOZMIANOWYCH W PRACACH PROFESORA TADEUSZA PRZYBYSZA

### Streszczenie

Celem opracowania jest krótka prezentacja fragmentu dorobku naukowego prof. Tadeusza Przybysza w dziedzinie doświadczeń płodozmianowych. W rozdziale pierwszym została przypomniana problematyka badań naukowych Profesora. Rozdział drugi zawiera niezbędne, podstawowe informacje o płodozmianach. W kolejnym przypomniano zaproponowane przez prof. Tadeusza Przybysza modele matematyczne dla doświadczeń płodozmianowych. Paragraf pierwszy tego rozdziału dotyczy analizy doświadczeń płodozmianowych na podstawie tzw. rośliny testowej, paragraf drugi analizy takich doświadczeń uwzględniającej plony przeliczeniowe roślin. Paragraf trzeci prezentuje zastosowanie analizy kowariancji do porównywania doświadczeń płodozmianowych. Na końcu opracowania dołączono pełny wykaz publikacji prof. Tadeusza Przybysza.

**Słowa kluczowe:** doświadczenie płodozmianowe, model matematyczny, roślina testowa

**Klasyfikacja AMS 2000:** 62P10, 62K10