

Малле ЛЕХТ

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
В СИСТЕМАТИКЕ РОДА *MEDICAGO* L.
(ПОДРОДА *FALCAGO* GROSSH.)**

Многолетние люцерны широко распространены во всем мире в лесах, лесостепях, степях и полупустынях на не кислых почвах (Культиасов, 1967). Родина люцерны — Центральная Азия и Армения (Васильченко, 1940). В Россию люцерна проникла через Европу в начале 18 века (Laur, 1962). Первым этапом развития люцерны считают растения с желтыми цветками, затем растения с пестрыми и светлыми цветками, а самой младшей считается люцерна с синими цветками (Культиасов, 1967).

Люцерна — одно из лучших растений для создания долголетних лугов. В Эстонии она возделывается на тонких дерново-карбонатных почвах, где остальные луговые травы из-за недостатка влаги дают неудовлетворительный урожай (Kral, Laur, 1979).

Первыми систематизировали люцерну К. Линней и И. Урбан. К. Линней описал в 1753 г. род *Medicago* в очень небольшом объеме с некоторыми короткими диагнозами видов. И. Урбан назвал в 1873 г. 14 видов многолетних люцерн (Синская, 1950). Позже люцерну систематизировали по-разному (Гроссгейм, 1945; Васильченко, 1950; Синская, 1950; Культиасов, 1967), причем в СССР все авторы выделяли в своих системах в этом роде разное число видов. П. А. Лубенец подчеркивает, что в связи с существенной зависимостью признаков от условий местобитания и в связи с межвидовым крестованием нет возможности выделить много видов. У него род состоит из 8 видов. А. А. Гроссгейм считает румынскую (*M. romanica* Prodr.), северную (*M. borealis* Grossh.) и серповидную люцерны (*M. falcata* L.) отдельно стоящими, И. Т. Васильченко полагает, что северная люцерна — это только разновидность серповидной, а Е. Н. Синская утверждает, что румынская и северная люцерны не виды, а экотипы.

В книге «Флора Эстонской ССР» (Eesti NSV floora, III, 1959) для Эстонии указано шесть видов подрода *Falcago*: серповидная (*M. falcata* L.), синяя (*M. sativa* L.), гибридная (*M. varia* Mart.), румынская и северная люцерны, обычные для Эстонии, и «вид-пришелец» — люцерна маленькая (*M. polymorpha* L.). Кроме названных, в Эстонии собраны некоторые экземпляры аравийской люцерны (*M. arabica* (L.) Nuds.), которые находятся в гербарии Тартуского государственного университета (ТГУ). Северная и румынская люцерны в нашей флоре неофиты, нашедшие себе подходящие места обитания (Kral, Laur, 1979).

В настоящей работе рассматриваются только обычные для Эстонии виды люцерны подрода *Falcago* Grossh. Особое внимание уделяется систематике сложной группы серповидной люцерны, которая перспективна в сельском хозяйстве. Цель данной работы — изучить система-

тику этих видов с помощью математических методов, которые ранее были успешно использованы при изучении систематики грибов, беспозвоночных и некоторых животных.

Материал и методика

Люцерны для данной работы были гербаризированы летом и осенью 1976 г. в Северной Эстонии и на о-ве Сааремаа. Просмотрен также гербарий Института зоологии и ботаники АН ЭССР. При отборе подходящих для анализа признаков примером служила работа А. Роуси о роде *Hipporhaë* (Rousi, 1971).

Растения были разбиты на две группы (растения с плодами и растения без плодов) и анализировались дважды. На первом этапе пользовались в основном значениями отношений признаков, на втором — абсолютными значениями признаков. Каждое растение измеряли в трех местах, а затем вычисляли среднее этих данных. При метризации качественных признаков пользовались двузначной логикой: «0» — нет и «1» — есть. На первом этапе исследовались растения с синими и желтыми цветками (62 растения с плодами — I группа и 272 растения без плодов — II группа), на втором — только желтоцветковые растения (43 растения I группы, 139 растений II группы). Растения измеряли под биноклем МБС-1 (с точностью до 0,1 мм) и линейкой (с точностью до 0,5 мм).

Первый комплект исследованных признаков (в основном соотношения) был следующим: 1) соотношение длины и ширины конечного листочка, 2) соотношение длины и ширины бокового листочка, 3) соотношение длины конечного листочка и длины черешка, 4) соотношение длины листочка и длины черешка, 5) соотношение длины сложного листа и длины черешка, 6) соотношение длины конечного листочка и числа пар жилок на нем, 7) соотношение длины бокового листочка и числа пар жилок, 8) соотношение длины и ширины конечного зубца конечного листочка, 9) соотношение длины и ширины конечного зубца бокового листочка, 10) число зубцов конечного листочка, 11) число зубцов бокового листочка, 12) соотношение длины и ширины прилистника, 13) соотношение длины соцветия и числа цветов, 14) соотношение длины соцветия и длины черешка соцветия, 15) соотношение длины цветка и длины цветоножки, 16) соотношение длины и ширины зубца чашечки, 17) соотношение длины зубца чашечки и длины чашечки, 18) стебель красноватый, 19) цветы желтые, 20) цветы синие, 21) средняя ширина боба, 22) число витков боба, 23) число семян в бобе, 24) соотношение длины и ширины семян, 25) внутренний диаметр витка боба.

Второй комплект признаков (абсолютные значения) был следующим: 1) ширина конечного листочка, 2) длина конечного листочка, 3) ширина бокового листочка, 4) длина бокового листочка, 5) ширина черешка конечного листочка, 6) ширина черешка бокового листочка, 7) ширина черешка сложного листа, 8) число пар жилок конечного листочка, 9) число пар жилок бокового листочка, 10) число зубцов конечного листочка, 11) число зубцов бокового листочка, 12) длина конечного зубца конечного листочка, 13) длина прилистника, 14) ширина прилистника, 15) число цветков, 16) длина соцветия, 17) длина черешка соцветия, 18) длина цветка, 19) длина цветоножки, 20) длина зубца чашечки, 21) ширина зубца чашечки, 22) длина чашечки, 23) цветок светло-желтый, 24) цветок темно-желтый, 25) бобы висящие,

26) ширина боба, 27) число витков боба, 28) число семян в бобе, 29) длина семени, 30) ширина семени.

Полученные данные были обработаны в Вычислительном центре ТГУ на ЭВМ «Минск-32». На первом этапе пользовались программой анализа главных компонентов (Мэлс, Райтвийр, 1974), которая рекомендуется для изучения изменчивости внутри предположительно гомогенных групп, на языке MALGOL, на втором — системой программ IZBTA на языке FORTRAN. На втором этапе при исследовании по абсолютным значениям признаков для сравнительной оценки использовали программу анализа главных координат.

Дискриминирующая сила главных компонентов может служить обобщающей для группирования изучаемых объектов. Т. Мэлс и А. Райтвийр (1974) успешно использовали метод главных компонентов при исследовании грибов. В литературе имеется много примеров использования данного метода в зоосистематике (Blackith, Reyment, 1971).

Если все виды рода разделяются по одному (первому) компоненту, то род является одномерным, если для этого необходимы два компонента, — двумерным и т. д. Дименциональность зависит от сложности таксона и отражает его эволюционированность. Широко распространено мнение, что первый компонент отражает изменчивость общей величины изучаемых объектов. Этот компонент охватывает большую долю тотальной изменчивости, иногда даже свыше 90%, и имеет коэффициенты с положительными знаками. Второй компонент интерпретируется как компонент формы. Он имеет коэффициенты как с положительными, так и с отрицательными знаками (Мэлс, Райтвийр, 1974).

Метод главных координат используется как альтернатива анализа главных компонентов. В количественной таксономии для объединения групп организмов используется изменение лишь по отдельным главным координатам, т. е. различные уровни организации индивидов на группы и подгруппы можно характеризовать вторым, третьим и четвертым собственными векторами. Обычно первый собственный вектор не принимают в расчет, поскольку компоненты его не обладают должной информативностью.

Обсуждение

На первом этапе анализа рассмотрены соотношения признаков. В группе растений без плодов большим весом обладали признаки 4, 10, 11, 15, 20 и 19 ($-0,1108$, $-0,0962$, $0,0040$, $0,3191$, $-0,0074$, $0,2968$, $0,2894$, $0,0971$, $0,1336$, $0,3291$, $0,3325$, $0,0681$, $0,1617$, $0,3318$, $0,2230$, $0,0225$, $-0,0757$, $-0,3595$, $0,3574$). Первый главный компонент охватывает только 24,8% тотальной изменчивости и имеет коэффициенты с положительными и отрицательными знаками (это указывает на компонент формы). Большинство первоначальных данных приведено в виде соотношения без учета влияния среды, а среда в первую очередь воздействует на величину индивида. Поэтому рассматриваемый компонент не может быть компонентом величины, хотя обычно его таким считают. В настоящей работе он называется компонентом цвета цветков и контурной формы (зубчатости) листьев.

Второй компонент — компонент формы (коэффициенты как положительные, так и отрицательные). Самый большой вес имеют признаки 1, 2, 5, 8 и 9 ($0,3965$, $0,4055$, $0,2901$, $0,1064$, $0,3493$, $-0,0767$, $-0,0620$, $0,3591$, $0,3687$, $-0,1781$, $-0,1887$, $0,1428$, $0,0972$, $0,1258$, $0,0402$, $0,0683$,

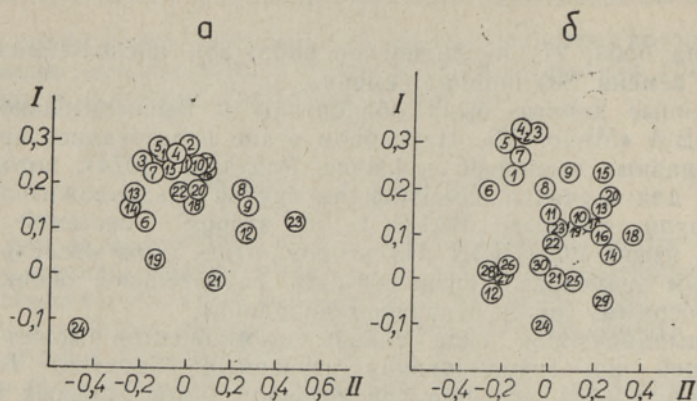


Рис. 1. Диаграмма разброса весов признаков (соотношения) в группах растений без плодов (а) и с плодами (б) по I и II главным компонентам.

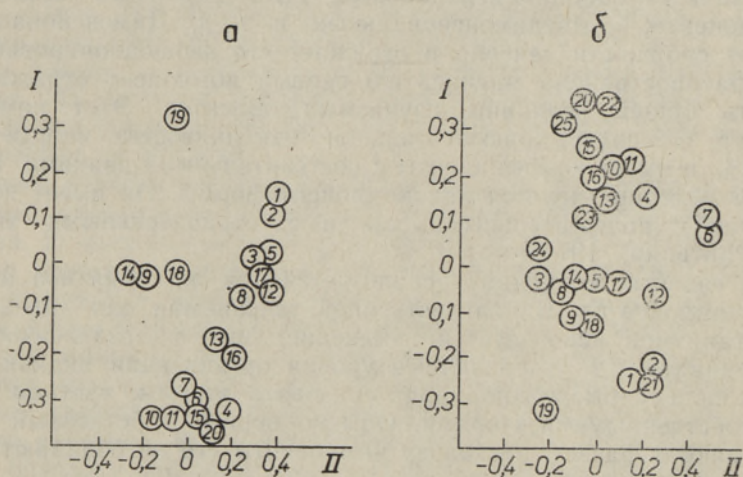


Рис. 2. Диаграмма разброса весов признаков (абсолютные значения) в группах желтоцветковых растений без плодов (а) и с плодами (б) по I и II главным компонентам.

0,1851, -0,1462, -0,0763, 0,0640). Этот компонент описывает пропорцию листа (рис. 1, а).

В третьем компоненте наибольший вес имеют признаки 2, 6, 7, 17 (0,2843, 0,3319, -0,2729, 0,0390, -0,0403, 0,3840, 0,3941, -0,1842, -0,0968, 0,0277, 0,0362, 0,0910, -0,1516, -0,1947, 0,2279, 0,3784, 0,1390, 0,1142, -0,2189). Это компонент густоты жилок (2-й и 17-й признаки имеют самый большой вес во 2-м и 5-м компонентах соответственно). Остальные компоненты в различении видов важными не были.

Р. Э. Блэки и Р. А. Реймент (Blackith, Reument, 1971) утверждают, что для систематики особый интерес представляют компоненты формы. В рассматриваемом анализе виды различаются по первым трем главным компонентам, которые в основном являются компонентами формы. В группе растений с плодами (рис. 1, б) в связи с прибавлением новых признаков значимость этих компонентов изменяется. У первого компонента по-прежнему важнейшими являются признаки

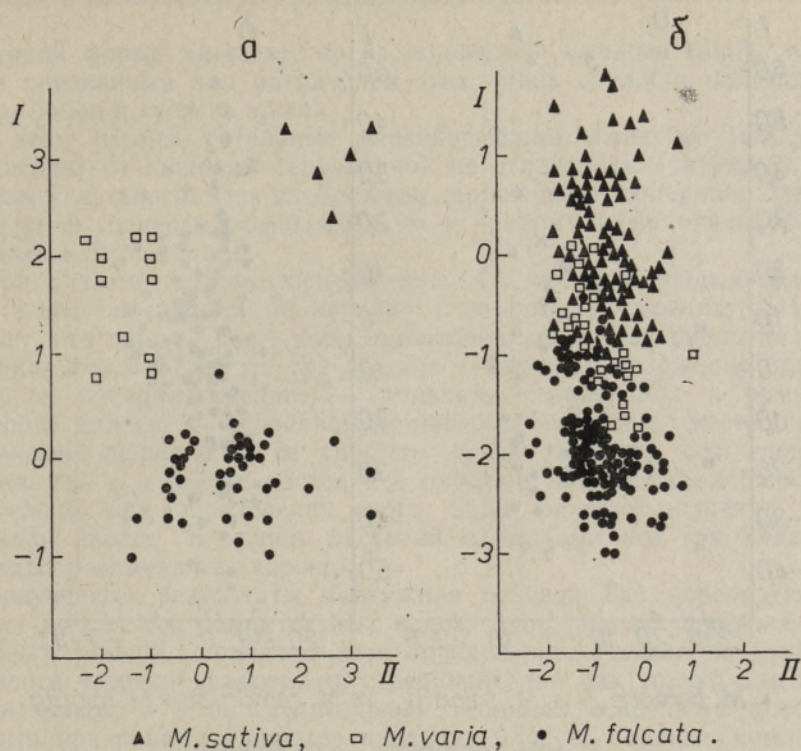


Рис. 3. Диаграмма разброса видов люцерны с плодами (а) и без плодов (б) по I и II главным компонентам.

цвета, а в следующих компонентах наибольшее значение приобретают признаки зубчатости. В первом компоненте важны еще 22-й и 25-й признаки. Следовательно, первый компонент является компонентом цвета цветков и формы плодов (-0,2524, -0,2215, -0,0211, 0,1530, -0,0422, 0,0935, 0,1035, -0,0513, -0,1096, 0,2295, 0,2560, -0,0650, 0,1501, -0,0428, 0,2636, 0,1011, -0,0475, -0,1396, -0,3161, 0,3746, -0,2546, 0,3638, 0,1109, 0,0468, 0,3173). Компонентом густоты жилок в этой группе является второй главный компонент. Вес признаков: 0,1714, 0,2721, -0,2522, 0,2247, -0,0489, 0,4863, 0,4826, -0,1657, -0,1100, 0,0916, 0,0995, 0,2569, 0,0219, -0,0849, -0,0288, 0,0014, 0,0833, -0,0103, -0,2149, -0,0906, 0,1929, 0,0132, -0,0304, -0,2146, -0,1807. В третьем компоненте (компоненте зубчатости листа и числа семян) доминируют признаки 8, 9 и 23 (вес выше среднего) и 10 и 11 (также вес выше среднего) (0,1619, 0,1106, -0,1106, 0,1104, 0,0386, -0,0875, -0,0659, 0,4674, 0,5185, 0,2722, 0,2480, -0,0269, 0,1326, 0,2044, 0,0196, 0,2139, 0,1711, 0,0263, -0,0692, -0,0189, -0,0790, 0,0273, -0,3543, -0,1363, -0,0912).

При сравнении растений I группы с растениями II группы выявляется, что второй главный компонент I группы распределяется между 3, 4, 5 и другими компонентами II группы. В результате этого все компоненты, начиная с третьего, оказываются сдвинутыми вперед. Следовательно, признаки плодов в систематике этой группы важнее, чем признаки листьев. Почти все корреляции между признаками были небольшими (кроме корреляции между признаками, описывающими листочки сложного листа).

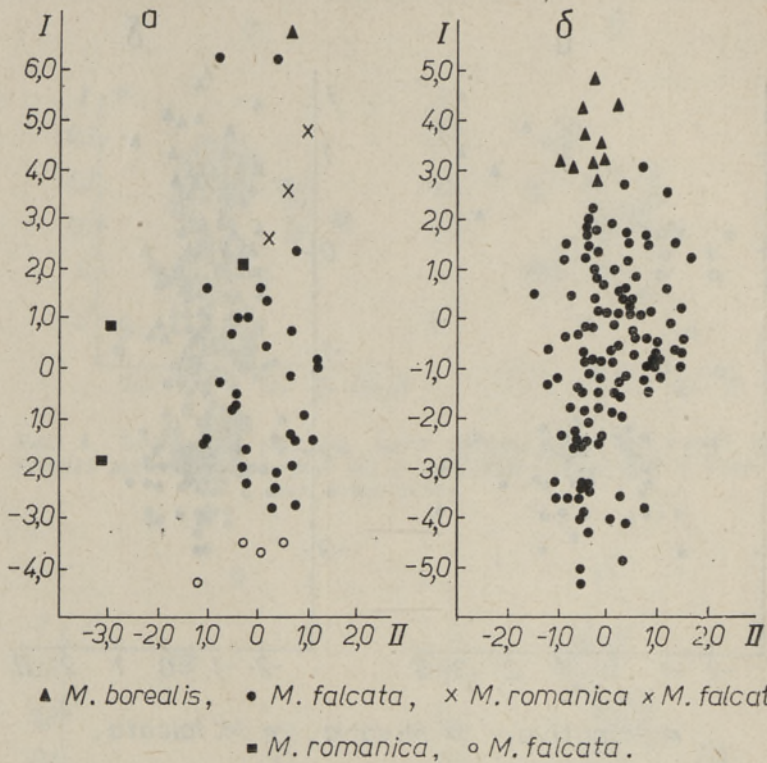


Рис. 4. Диаграмма разброса желтоцветковых растений с плодами (а) и без плодов (б) по I и II главным компонентам. *M. falcata*, отмеченные пустым кружочком, происходят из бедных местообитаний.

При анализе по абсолютным значениям признаков (исследовались только желтоцветковые люцерны) самыми важными для различения видов были 23-й и 24-й признаки, которые не коррелируют с другими и между собой и на диаграмме находятся далеко друг от друга (рис. 2). Самостоятельную группу составляют признаки плодов 26, 27, 28, 29 и 30, значения которых коррелируют только между собой. Признаки величины листьев (1—7) также образуют группу, независимую от остальных. Только между собой коррелируют признаки 8 и 9, а также 10 и 11. Существенными различительными признаками являются также 21, 18 и 12, которые не коррелируют с другими. В этом анализе первый главный компонент является компонентом величины листьев в обеих группах растений, второй главный компонент в группе растений без плодов — компонент цвета цветков и густоты жилок, третий — компонент величины цветка. Второй компонент в группе растений с плодами можно назвать компонентом длины цветка, а третий — компонентом плодов и цвета цветков.

При анализе по соотношениям признаков виды различались лучше по первому и второму компонентам (рис. 3). Четко различались виды (*M. falcata*, *M. sativa*, *M. varia*) только в группе растений с плодами. Самыми важными признаками для отличия гибридной люцерны от остальных были густота жилок (II главный компонент), цвет цветков и форма бобов (I главный компонент). В группе растений без плодов виды различались в основном по первому компоненту (цвет цветков и

контурная форма листьев), но не полностью. Следовательно, важнейшими признаками для различения этих видов служили цвет цветков, форма бобов и густота жилок.

В этом анализе остальные желтоцветковые люцерны (северная и румынская) от люцерны серповидной не отличались (на рис. 3, а и б в левом углу диаграммы изображена серповидная люцерна с близкими к северной люцерне признаками, а в правом — индивиды, близкие к румынской люцерне).

При анализе желтых люцерн (рис. 4), как и в предыдущем анализе, виды определяли по первому и второму компоненту. Из этого следует, что данный род — двумернофункциональный. Как видно по рис. 4, материал разделяется на три группы — верхнее положение занимает северная люцерна, среднее — типичная серповидная и румынская люцерны, нижнее — серповидные люцерны из бедных местообитаний. Румынская люцерна и ее гибриды среди растений без плодов не выделялись, а в группе растений с плодами выделялись хорошо. Следовательно, при определении этого вида важное значение имеют признаки плодов. В группе растений с плодами все три вида и их гибриды различались хорошо.

Полученные результаты послужили основой для переопределения многих до сих пор сомнительных видов. Большинство предполагаемых северных люцерн оправдало свое определение. Раньше не было возможности уверенно назвать их северными, так как только два из них имели плоды, а в определительных таблицах основными диагностическими признаками являются признаки плодов. Главные компоненты позволяют идентифицировать также те растения северной люцерны, у которых нет плодов. Однако румынская люцерна, которую можно отличить от серповидной даже в бесцветковом состоянии (Krall, Laur, 1979), на диаграмме растений без плодов почти не различалась. Полученные результаты показывают, что анализ с помощью главных компонентов успешно применим в систематике высших растений.

ЛИТЕРАТУРА

- Васильченко И. Т. О происхождении люцерны. — Природа, 1940, 4, 72—74.
 Васильченко И. Т. Новые для культуры виды люцерны. М.-Л., 1950.
 Гроссгейм А. А. Род *Medicago*. — В кн.: Флора СССР. XI. М.-Л., 1945, 134—189.
 Культиасов М. В. Экогенетический анализ многолетних люцерн. — В кн.: Люцерна тьянь-шаньская и опыт ее интродукций. М., 1967, 7—140.
 Лубенец Т. А. Люцерна. М.-Л., 1956.
 Мэлс Т., Райтвиль А. Морфометрия и систематика грибов. Тарту, 1974.
 Синская Е. Н. Культурная синяя люцерна — сборный вид (conspecies) *Medicago sativa* L. em. sensu lato. — В кн.: Культурная флора СССР. XIII. М.-Л., 1950, 1, 28—107.
 Сметанникова А. И. Люцерна на Северо-Западе СССР. Л., 1967.
 Blackith, R. E., Reyment, R. A. Multivariate Morphometrics. London—New York, Academic Press, 1971.
 Eesti NSV floora. III. Tln., 1959.
 Krall, H., Laur, V. Sirplutserni looduslike populatsioonide bioloogilised omadused ja kasutamisperspektiivid. — ENSV TA Toim. Biol., 1979, 28, 266—274.
 Laur, V. Lutsernikasvatus kamar-karbonaatmuldadel Eestis. Tln., 1962.
 Rousi, A. The genus *Hippophäe* L. A taxonomic study. — Ann. Bot. Fenn., 1971, 8, 177—277.

Malle LEHT

**MÕNINGATE MATEMAATILISTE MEETODITE KASUTAMISEST PEREKONNA
MEDICAGO L. (ALAMPEREK. FALCAGO GROSSH.) SÜSTEMAATIKAS**

Töö eesmärk oli uurida matemaatiliste meetodite abil perekonna *Medicago* L. alam-perekonna *Falcago* Grossh. Eestis esinevaid liike. Kasutati peakomponentide ja peakoordinaatide analüüsi programme. Töö teostati kahes etapis kahe grupina (I grupis viljadeta taimed, II grupis viljadega taimed). Esimeses etapis kasutati põhiliselt tunnuste väärtuste suhteid, teises absoluutväärtusi. Edukalt osutus rakendatavaks vaid peakomponentide analüüs, peakoordinaatide analüüsi programmi moodustatud grupid olid kunstlikud. Liikide eristamisel olid tunnustest kõige väärtuslikumad õite värvus, hammaste arv lehekese tipul, roodude tihedus, viljade tunnused ning vähemal määral lehtede suurust ja kuju puudutavad tunnused. Tunnuste absoluutväärtuste analüüsis lisandusid neile veel õietupe hamba laius ja õierao pikkus. *M. falcata*, *M. sativa* ja *M. varia* eristusid täielikult vaid siis, kui arvestati ka viljade tunnuseid. *M. falcata*, *M. borealis*, *M. romanica* ja nende hübriidid eristusid otsetunnuste kasutamisel.

Malle LEHT

**SOME MATHEMATICAL METHODS IN THE SYSTEMATICS
OF THE GENUS *MEDICAGO*
(SUBGENUS *FALCAGO* GROSSH.)**

The aim of the study was to examine the systematics of some Estonian species of the subgenus *Falcago* Grossh. (genus *Medicago* L.) with the help of mathematical methods. A programme of principal components and a programme of principal coordinates were used. The work was performed in two groups (group I — plants without fruits, group II — plants with fruits) and in two stages. At the first stage, mostly ratios of the values of characters, and at the second stage only the absolute values were used. In the present work only the method of principal components proved suitable, the groups built up by the method of principal coordinates were artificial. The most important characters for distinguishing the species of alfalfa were the colour of flowers, characters of fruits, closeness of veins, number of teeth at the top of the leaflet, and, to a smaller extent, the characters of form and the measurements of leaves. In the analysis of absolute values of characters, the width of the spathe and the length of the pedicle were important, too. *M. falcata*, *M. sativa* and *M. varia* were completely differentiated only when the characters of fruits were taken into consideration. *M. falcata*, *M. borealis*, *M. romanica* and their hybrids were differentiated when the absolute values of the characters were used.