

Насипни характеристики на смлени листа от пауловния (*Paulownia* spp.)

Николай Димитров, Анна Колева, Божидар Бозаджиев

Physical properties of grounded Paulownia leaves (Paulownia spp.): Bulk density, angle of repose, angle of free flow, angle of friction (static coefficient of friction), were determined for coarse and fine grounded *Paulownia* spp. leaves with moisture 11.24% and 9.9% respectively. Bulk density is 236.3 kg/m³ (SD=1.6432) for coarse and 316.4 kg/m³ (SD=1.7103) for fine ground. Angle of repose is 42.4° (SD=2.881) and 52.2° (SD=4.8683), respectively. Angle of free flow over galvanized iron is from 29.8° to 47.6° and from 31.6° to 53° over wooden surface. Static coefficient of friction over galvanized iron is 0.5183 (SD=0.0265) for coarse ground and 0.5727 (SD=0.0228) for fine ground leaves. These coefficients are statistically equal for both product over wooden surface – 0.6371 (SD=0.0199).

Ключови думи: *Paulownia* spp. leaves, bulk density, angle of repose, angle of free flow, angle of friction, static coefficient of friction.

ВЪВЕДЕНИЕ

Листата на дървото пауловния (*Paulownia* spp.) са с големи размери (диаметър до 80 cm) и поради разнообразния им биохимичен състав, могат да се използват за фураж на различни селскостопански животни [17]. Те са богати на минерали, белтъчни вещества и притежават обменна енергия от 15 до 18 MJ/kg [6]. Богати са на аминокиселините глутаминова и аспарагинова киселина, както и на незаменими аминокиселини. Съдържанието на лимитиращи аминокиселини, като процент от протеина, е високо и превъзхожда всички използвани у нас листикови фуражи [19].

Насипните характеристики на суровините са изключително важни за разрешаване на проблеми, свързани с преработката им в селското стопанство, хранителната и фуражната промишленост. От тези характеристики зависят съхранението, транспортирането, смесването и пакетиранието им [5]. Триенето и силите на сцепление между частиците определят формирането на конусите при запълване и изпразване на насипни суровини и могат да доведат до сегрегация. Колкото тези сили са по-слаби, толкова ъгълът на естествен наклон е по-малък и изтичането е по-свободно. Продукти с ъгъл на естествен наклон под 40° се считат за свободно изтичащи, докато при тези с ъгли 50° или по-големи, свободното изтичане е силно затруднено [11]. За да се установи стабилен и надежден поток е необходимо точно да се определи поведението на насипните суровини при изтичане [9].

Целта на настоящата разработка е да се определят насипните характеристики – обемна маса, ъгъл на естествен наклон, ъгъл на изтичане по наклонена повърхност и ъгъл на статично триене (коефициент на статично триене) на изсушени едро смлени листа и брашно от листа на пауловния (*Paulownia* spp.).

МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

Изследваните листа са от едногодишно растение (*Paulownia tomentosa*), реколта 2010 г., прибрани след листопад, през месец ноември. Преди смилане листата са изсушени при стайна температура до влажност 13,5%. След смилане влажността на брашното е 9,9% (SD=0,265; n=3), а на едро смлените листа – 11,24% (SD=0,277; n=3).

Влажността на листата преди и след смилане е определена чрез сушене на проби от 5 g при температура 130-133°C за 2 часа (ISO 712:1997).

Листата са смлени на лабораторна щифтова дробилка модел GJ 51366 (Germany), снабдена с 72 броя цилиндрични щифтове с диаметър 6mm и дължина 21mm, подредени в четири концентрични реда (по два за ротор и статор). Роторът е

с диаметър $\varnothing 210\text{mm}$ и се върти с периферна скорост 64 m/s . Листа са раздробени след петкратно последователно преминаване през щифтова дробилка и пресяване с лабораторен планзихтер. Едрата фракция е отделена след последното смилане като надсявка над сито със светли отвори $215\ \mu\text{m}$. Брашното представлява пресявката под сито със светли отвори $215\ \mu\text{m}$.

Определени са:

– Гранулометричният състав на двата продукта Таблица 1. Анализът е осъществен на лабораторен ситоанализатор, снабден със сита с различни светли отвори. Количествен критерий за едрината на смилане е средния геометричен диаметър на частиците (d_{wg} , μm) [12].

Таблица 1:
Гранулометричен състав на едро смлени листа и брашно от листа на пауловния

№	Едро смлени листа		Брашно от листа	
	Светъл отвор, μm	Маса на надсявката, %	Светъл отвор, μm	Маса на надсявката, %
1.	1250	0,1	215	0,3
2.	850	4,9	200	4,2
3.	530	28,1	180	16,0
4.	400	23,1	150	24,3
5.	280	18,8	132	12,0
6.	250	17,7	125	16,2
7.	215	1,2	110	2,0
8.	200	3,7	80	1,5
9.	0	2,4	71	1,2
10.			0	22,3

Средният размер на частиците на едрата фракция е $d_{gw}=442,3\mu\text{m}$ (стандартно отклонение $S_{gw}=1,744$), а на брашното е $d_{gw}=120,9\mu\text{m}$ (стандартно отклонение $S_{gw}=1,716$).

- Обемната маса, чрез запълване на метален цилиндър и отсичане на 1dm^3 от продукта. Цилиндърът се запълва чрез свободно изтичане от постоянна височина. Полученият обем се претегля с точност $0,1\text{ g}$ и се изразява в kg/m^3 .

- Ъгълът на естествен наклон, чрез стъклена вана с вътрешни размери дължина 200 mm , ширина 100 mm и височина 200 mm , затворена с капак. Ваната се запълва до $1/3$ с пробата, изравнява се повърхността на материала, след което се завърта без стръскване на 90° . Това позволява на продукта да приеме естествен наклон, който след това се измерва.

- Ъгълът на изтичане, като в единия край на наклоняща се повърхност, дървена или от галванизирани стомана, с дължина 50 cm се поставя свободно 50 g продукт. Повърхността постепенно се накланя, докато първите частици от продукта преминат цялата повърхност. Този наклон представлява началния ъгъл на изтичане (α_1). Накланянето продължава до момента на изтичане и на последните частици от пробата, при което се определя крайният ъгъл на изтичане (α_2).

- Ъгълът на статично триене (μ_s , $^\circ$), чрез кух пластмасов цилиндър с диаметър 45 mm и височина 20 mm . Цилиндърът се запълва с продукта и се поставя върху наклоняща се повърхност от съответния материал. Цилиндърът леко се повдига, така че стените му да не докосват повърхността. Повърхността се накланя постепенно, докато запълнения цилиндър започне да се плъзга надолу. Ъгълът на наклона, при който продуктът започне своето движение представлява ъгъла на

статично триене [13]. Коефициентът на статично триене се изчислява като тангенс от ъгъла на триене.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

В Таблица 2 са представени насипните характеристики на двата продукта.

Таблица 2:

Насипни характеристики на едро смлени листа и брашно от листа на пауловния.

Показател	Едро смлени листа			Брашно от листа			
	Средна стойност	SD=	Min/Max	Средна стойност	SD=	Min/Max	
Обемна маса, kg/m ³		236,3	1,6432	235/239	316,4	1,7103	314,5/319
Ъгъл на естествен наклон (φ), °		42,4	2,8810	39/46	52,2	4,8683	47/60
Ъгъл на изтичане, ° (метална повърхност)	Начален α ₁	29,8a	1,9235	28/33	35b	1,0000	34/36
	Краен α ₂	36,2	2,1679	35/40	47,6	3,2094	43/52
Ъгъл на изтичане, ° (дървена повърхност)	Начален α ₁	31,6a	1,1402	30/33	37,6b	1,1504	36/39
	Краен α ₂	40,6	2,6077	38/44	53,0	2,9155	50/57
Ъгъл на триене, (μ _s , °)	(метал)	27,4	1,5166	25/29	29,8	1,3038	29/32
Коефициент на ст. триене	(метал)	0,5183	0,0265	0,4663/ 0,5543	0,5727	0,0228	0,5543/ 0,6249
Ъгъл на триене, (μ _s , °)	(дърво)	32,4c	1,1402	31/34	32,6c	1,1402	31/34
Коефициент на ст. триене	(дърво)	0,6346d	0,0199	0,6009/ 0,6745	0,6395d	0,0199	0,6009/ 0,6745

Стойности, означени с еднаква буква, са статистически неразличими (t-критерии на Стюдънт) при ниво на доверие 95% и 5 кратни повторения на всеки анализ.

И при двата продукта обемната маса е ниска – около и под 300 kg/m³. Обемната маса на едро смлените листа е по-ниска от брашното, като разликата е статистически значима. Сравнено с подобни продукти като пшенично брашно – 400-750 kg/m³, царевично брашно – 500-700 kg/m³ и царевично нишесте – 550 kg/m³, обемната маса е приблизително два пъти по-ниска [14]. Стойностите са близки до тези на люцерново брашно – средно 240 kg/m³ [2], т.е. са типични за брашно от изсушена зелена маса.

И при двете суровини ъгълът на естествен наклон е висок – над 40°. По-нисък е за едро смлените листа, спрямо брашното, като разликата е статистически значима. Сравнено с пшеница – 26-27° и ечемик – 26-24° [10], ъгълът на естествен наклон е значително по-висок. Получените резултати са близки до тези на брашна от ечемик (43-44°), пшеница (43-50°) и царевица (44-47°) [18]. Jong de J.A.H. et al. [8] използват ъгъла на естествен наклон (и други характеристики) за да класифицират насипните

суровини по отношение на възможностите им за свободно изтичане. Те биват неизтичащи ($\varphi > 60^\circ$), трудно изтичащи ($\varphi = 45-60^\circ$), свободно изтичащи ($\varphi = 30-45^\circ$), изключително лесно изтичащи ($\varphi = 10-30^\circ$) и аерирани ($\varphi = 10^\circ$). Според тази класификация едро смлените листа и брашното от листа на пауловния са трудно изтичащи.

Началният ъгъл на изтичане на едро смлените листа по метална и дървена повърхност е статистически еднакъв, докато крайният ъгъл на изтичане е различен за двете повърхности. Аналогични резултати се наблюдават и за брашното от листа. Вероятна причина за това е, че началният ъгъл на изтичане зависи в по-голяма степен от силите не сцепление между частиците, т.е. от коефициента на вътрешно триене, и в по-малка степен от коефициента на триене по повърхността [15]. От своя страна коефициентът на вътрешно триене е свързан с ъгъла на естествен наклон, който за двата изследвани продукта е висок. Следователно, за да започне изтичане по повърхността трябва да се преодолее, в по-голяма степен, силата на вътрешно триене, отколкото да се преодолее силата на триенето по повърхността.

И при двете повърхности, ъгълът на изтичане е по-висок за брашното, спрямо едро смления продукт, като разликата е статистически значима. Препоръчва се за безпроблемно транспортиране на брашното от листа, ъгълът на самотечните тръби (дървени или от галванизирани стомана) да бъде над 55° , а на едро смлените листа – над 41° .

Ъгълът на триене е по-висок за дървената повърхност спрямо металната при двата изследвани продукта. Разликата между повърхностите е 5° за едро смлените листа и $2,8^\circ$ за брашното. Ъглите на триене по дървената повърхност са статистически неразличими за двата продукта, докато при металната повърхност разликата е значима - ъгълът на триене на едро смлените листа е с $2,4^\circ$ по-нисък от този на брашното. Сравнено с пшенично зърно (с ъгъл на триене от $17,7^\circ$ до $25,2^\circ$ при влажност 12,7% [4;7;10]) измерените ъгли са средно с $8,2^\circ$ по-високи.

Коефициентът на триене на люцернови и ечемични стебла при влажности от 12,0 % до 45,7 % е от 0,14 до 0,27 [1]. Коефициентът на триене на стебла от пшеница при влажност 10 % е 0,13, а на ечемик в зелено състояние с влажност 51% е 0,21 [1]. Сравнено с получените резултати (0,5183 – 0,6395), листата от пауловния имат значително по-високи коефициенти на триене. Установените стойности са близки до тези за силажи от царевица и сено – от 0,63 до 0,71 при влажност 73% [3] и за надробена несушена люцерна върху галванизирани повърхност 0,529 [16]. Измерените коефициенти на триене са високи. Поради това плъзгането на продукта по стените и дъната на вместимостите ще бъде силно затруднено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ниската обемна маса на листата от пауловния предполага ограничена степен на използване на капацитета на зърнохранилищата и транспортните машини. Ъгълът на естествен наклон и за двата изследвани продукта е висок – над 40° , което ги определя като трудно изтичащи. За безпроблемно транспортиране на брашно от листа на пауловния препоръчваме ъгълът на наклона на самотечните тръби от дърво или от галванизирани стомана, да бъде над 55° , а за едросмлените листа – над 41° . Коефициентът на триене на листата от пауловния е висок (от 0,5183 до 0,6395). Следователно плъзгането на продукта по стените и дъната на вместимостите за съхранение ще бъде силно затруднено.

Едросмлените листа и брашното от листа на пауловния са трудно изтичащи суровини и за да бъдат транспортирани и освободени от обемите за съхранение са необходими специални устройства, подходящи конструкции на вместимостите или подобряване на изсипваемостта им чрез агломерирани.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Afzalnia S. & Roberge M. 2007. Physical and mechanical properties of selected forage materials. *Can. Biosys. Eng.* 49: 223-227.
- [2] Appel W.B. Physical properties of feed ingredients. feed manufacturing technology iii. In *Feed manufacturing technology* pp. 557-562. American Feed Industry Association. Alington VA.
- [3] ASAE. 1996. Friction coefficients of chopped forages. *ASAE D251.1 DEC96*.
- [4] Boumans G. 1985. Grain handling and storage. Elsevier Science Publishers,
- [5] Chen X.D. 1994. Mathematical analysis of powder discharge through longitudinal slits in a slow rotating drum: objective measurements of powder flowability. *J. Food Eng.* 21: 421-437.
- [6] El-Showk S. & El-Showk N. 2003. The paulownia tree – an alternative for sustainable forestry. *The farm*. pp. 1-8.
- [7] Jayas D.S. & Cenkowski S. 2006. Grain property values and their measurement. In *Handbook of industrial drying*. Arun S. Mujumdar (Ed.). pp. 580. Elsevier Science
- [8] Jong de J.A.H., Hoffmen A.C. & Finkers H.J. 1999. Properly determine powder flowability to maximize plant output. *Chem Eng Prog.* 95(4): 25-34.
- [9] Kamath S., Puri V.M. & Mandeck H.B. 1994. Flow property measurement using the jenike cell for wheat flour at various moisture contents and consolidation times. *Powder Tech.* 81: 293-297.
- [10] Muir W.E. & Sinha R.N. 1988. Physical properties of cereal and oilseed cultivars grown in western canada. *Can. Agric. Eng.* 30(1): 51-55.
- [11] Peleg M. 1977. Flowability of food powders and methods for its evaluation—a review. *J. Food Pro. Eng.* 1: 303-328.
- [12] Pfost H. & Headley V. 1976. Methods of determining and expressing particle size. In *Feed manufacturing technology*. Pfost H (Ed.). Am. Feed Manufacturers Assoc. Arlington, VA
- [13] Razavi S. & Milani E. 2006. Some physical properties of the watermelon seeds. *African Journal of Agricultural Research.* 13: 65-69.
- [14] Schubert H. 1987. Food particle technology. part i: properties of particles and particulate food systems. *J. Food. Eng.* 6: 1-32.
- [15] Schulze D. 2007. Powders and bulk solids (behavior, characterization, storage and flow). pp. 32-37. Springer.
- [16] Shinnars K.J., Koegel R.G. & Lehman L.L. 1991. Friction coefficient of alfalfa. *Transactions of the ASAE.* 34(1): 33-37.
- [17] Zhaohua E. 1987. A new farming system. crop/paulownia intercropping. multipurpose tree species from small-farm use. *Proceedings of an international workshop held in November 2-5, Pattaya, Thailand.* pp. 65-69.
- [18] Афанасьев Б.А. 2008. Руководство по технологии комбикормов, белково-витаминно-минеральных концентратов и премиксов, том. 1. pp. 80-83.
- [19] Колева А., Добрева К., Стоянова М., Денев П., Дамянова С., Илчев А., Ташева С., Ганчев Г., Павлов Д., Ангелов Б. & Стоянова А. 2011. Пауловнията, източник на биологично-активни вещества. 1. Състав на листа. 2. Аминокиселинен състав на листа. *Journal of Mountain Agriculture on the Balkans.* 14(5): 1061-1086.

За контакти:

гл. ас. д-р инж. Николай Димитров, УХТ- Пловдив, катедра „ТЗФХСП“, бул. “Марица” 26, 4000 Пловдив, тел.: ++359 32 603 729, e-mail: bussy@mail.bg

гл. ас. д-р инж. Анна Колева, УХТ- Пловдив, катедра „ТЗФХСП“, бул. “Марица” 26, 4000 Пловдив, тел.: ++359 32 603 639, e-mail: a_koleva@abv.bg

гл. ас. д-р инж. Божидар Бозаджиев, УХТ- Пловдив, катедра „ТЗФХСП“, бул. “Марица” 26, 4000 Пловдив, тел.: ++359 32 603 862, e-mail: bbozadjiev@yahoo.de

Докладът е рецензиран.