

## Supplementary information

**Table 1S** Element content in FR under different L/S ratio

sample	L/S	chemical composition (%)										
		Ca	Na	K	Mg	Si	Al	Cl	P	S	Fe	Zn
SHPS 1	0:1	3.18	3.31	0.05	0.03	1.99	0.17	8.76	0.02	0.02	37.32	13.89
	2:1	2.11	0.73	0.03	0.02	2.29	0.19	3.35	0.02	0.02	43.10	16.04
	3:1	1.99	0.64	0.03	0.02	2.36	0.20	2.79	0.02	0.02	44.35	16.50
	4:1	1.77	0.53	0.03	0.02	2.38	0.20	1.83	0.02	0.02	44.81	16.67
	5:1	1.49	0.19	0.02	0.02	2.45	0.21	0.94	0.02	0.01	46.05	17.13
SHPS 2	0:1	11.11	0.38	0.13	0.19	4.78	0.21	12.13	0.01	0.37	29.80	4.21
	2:1	7.38	0.16	0.099	0.15	5.82	0.25	5.85	0.01	0.31	36.38	5.13
	3:1	6.98	0.10	0.089	0.15	5.97	0.26	4.44	0.01	0.29	37.32	5.26
	4:1	6.59	0.06	0.074	0.15	6.14	0.27	3.52	0.01	0.29	38.41	5.41
	5:1	6.41	0.03	0.061	0.13	6.28	0.27	1.84	0.01	0.28	38.79	5.48
SHPS 3	0:1	0.32	3.21	0.01	0.14	1.58	0.64	5.21	0.01	0.08	55.31	0.02
	2:1	0.20	0.60	0.007	0.094	1.70	0.67	0.96	0.01	0.06	59.68	0.02
	3:1	0.19	0.52	0.006	0.094	1.71	0.69	0.91	0.01	0.06	60.02	0.02
	4:1	0.16	0.32	0.005	0.092	1.72	0.70	0.44	0.01	0.05	60.20	0.02
	5:1	0.14	0.07	0.005	0.091	1.73	0.70	0.40	0.01	0.05	60.74	0.03

**Table 2S** Element content in FR under different SHPS particle size

sample	size	chemical composition (%)										
		Ca	Na	K	Mg	Si	Al	Cl	P	S	Fe	Zn
SHPS 1	60	1.99	0.64	0.03	0.02	2.36	0.20	2.79	0.02	0.02	44.35	16.50
	100	1.97	0.61	0.03	0.02	2.37	0.20	2.04	0.02	0.02	44.54	16.57
	140	1.97	0.60	0.02	0.02	2.39	0.20	2.00	0.02	0.02	44.88	16.69
	180	1.96	0.58	0.03	0.02	2.40	0.20	2.00	0.02	0.02	45.14	16.79
SHPS	60	6.98	0.10	0.09	0.15	5.97	0.26	4.44	0.01	0.29	37.32	5.26

2	100	6.98	0.09	0.09	0.15	6.14	0.27	1.99	0.01	0.29	38.37	5.41
	140	6.96	0.09	0.09	0.15	6.14	0.27	1.93	0.01	0.29	38.41	5.41
	180	6.94	0.09	0.09	0.15	6.18	0.27	1.83	0.01	0.29	38.66	5.45
SHPS 3	60	0.19	0.52	0.006	0.09	1.71	0.69	0.91	0.01	0.06	60.02	0.02
	100	0.17	0.45	0.006	0.09	1.71	0.670	0.65	0.01	0.05	60.27	0.022
	140	0.17	0.43	0.006	0.09	1.72	0.70	0.63	0.01	0.05	60.49	0.022
	180	0.17	0.42	0.006	0.09	1.73	0.70	0.61	0.01	0.05	60.73	0.022

**Table 3S** Element content in FR under different washing time

sample	time/min	chemical composition (%)										
		Ca	Na	K	Mg	Si	Al	Cl	P	S	Fe	Zn
SHPS 1	5	2.43	1.76	0.03	0.02	2.14	0.18	4.88	0.02	0.02	40.21	14.96
	10	1.97	0.61	0.03	0.02	2.37	0.20	2.04	0.02	0.02	44.54	16.57
	30	1.94	0.59	0.03	0.02	2.37	0.20	1.98	0.02	0.02	44.65	16.61
	50	1.95	0.59	0.03	0.02	2.38	0.20	1.97	0.02	0.02	44.82	16.67
	70	1.94	0.57	0.03	0.02	2.39	0.20	1.94	0.02	0.02	44.90	16.70
SHPS 2	5	8.46	0.21	0.10	0.16	5.36	0.23	6.13	0.01	0.32	33.47	4.72
	10	6.98	0.09	0.09	0.15	6.14	0.27	1.99	0.01	0.29	38.37	5.41
	30	6.92	0.09	0.09	0.15	6.15	0.27	1.94	0.01	0.29	38.45	5.42
	50	6.90	0.09	0.09	0.15	6.16	0.27	1.90	0.01	0.29	38.54	5.43
	70	6.88	0.09	0.09	0.15	6.18	0.27	1.88	0.01	0.29	38.66	5.45
SHPS 3	5	0.27	1.49	0.007	0.11	4.01	0.84	2.38	0.01	0.06	58.23	0.02
	10	0.17	0.45	0.006	0.09	1.72	0.70	0.65	0.01	0.05	60.27	0.02
	30	0.17	0.44	0.006	0.09	1.72	0.70	0.65	0.01	0.05	60.38	0.02
	50	0.17	0.44	0.006	0.09	1.72	0.70	0.64	0.01	0.05	60.54	0.02
	70	0.17	0.43	0.006	0.09	1.73	0.70	0.63	0.01	0.05	60.69	0.02

**Table 4S** Element content in FR under different washing frequency

sample	frequency	chemical composition (%)										
		Ca	Na	K	Mg	Si	Al	Cl	P	S	Fe	Zn
SHPS 1	1	1.97	0.61	0.03	0.02	2.37	0.20	2.04	0.02	0.02	44.54	16.57
	2	1.72	0.18	0.03	0.02	2.45	0.21	1.04	0.02	0.02	46.01	17.11
	3	1.59	0.005	0.03	0.02	2.50	0.21	0.29	0.03	0.02	46.97	17.47
	4	1.46	0.002	0.03	0.02	2.54	0.22	0.03	0.03	0.02	47.82	17.79
SHPS 2	1	6.98	0.09	0.09	0.15	6.14	0.27	1.99	0.01	0.29	38.37	5.41
	2	6.53	0.028	0.09	0.15	6.33	0.28	0.70	0.01	0.29	39.56	5.57
	3	6.35	0.002	0.08	0.16	6.54	0.29	0.05	0.01	0.29	40.89	5.76
	4	6.49	0.0002	0.08	0.16	6.70	0.29	0.01	0.01	0.29	41.92	5.91
SHPS 3	1	0.23	0.447	0.006	0.09	1.72	0.70	0.65	0.01	0.05	60.27	0.02
	2	0.23	0.094	0.006	0.09	1.76	0.72	0.20	0.01	0.05	61.94	0.02
	3	0.20	0.004	0.005	0.09	1.80	0.73	0.002	0.01	0.05	63.26	0.02
	4	0.20	0.001	0.005	0.09	1.81	0.73	0.001	0.01	0.05	63.64	0.02