DOI:10.13758/j.cnki.tr.1996.05.009

土垫旱耕人为土地球化学特征

贾恒义 雍绍萍 田积莹

(中国科学院水利部西北水土保持研究所 陕西杨陵 712100)

摘 要

研究了汾渭盆地的土垫旱耕人为土地球化学状态与有关影响因素.

1. 土垫旱耕人为土受施土粪堆垫作用改变了成土方向与过程，也改变了土壤地球化学特征.

2. 土垫旱耕人为土在成土过程受淋溶淀积、生物迁移富集，蒸发等作用，但被Ca^{++}、Mg^{++}等离子饱和，使土壤呈偏碱性.

3. 土垫旱耕人为土不同亚类在成土过程中因生态环境的差异，其土壤地球化学特征稍有差异.

关键词 土垫旱耕人为土；土壤地球化学；淋溶淀积

土垫旱耕人为土 Eum-Orthic anthrosols)，曾命名为埝土(Tier soils)[1]，它是我国古老的耕种土壤之一. 广泛分布于冀、鲁、豫、辽、晋、陕等省. 该区为暖温带半干旱、半湿润的季风气候，其特点是冬季寒冷少雪，夏季高温多雨，干湿交替分明，湿热同步. 此种气候为成土过程、农业生产等提供了良好生态环境条件. 这一地区开发历史悠久，也是我国粮、棉、油和其他农牧土特产的生产基地与盛产区.

人类生产活动可以加速成土过程或者被阻滞甚至逆转[2]，土垫旱耕人为土就是一例，它是人为施用土粪，逐渐堆垫于自然土壤之上而创造出的"黄盖垆"土壤. 它明显区别于地带性或区域性土壤.

土垫旱耕人为土的地球化学过程，特征与生态环境，对土垫旱耕人为土的系统分类，开发利用及改良等都有重要的理论价值和实用意义. 笔者就汾渭盆地土垫旱耕人为土的地球化学过程，特征与生态环境进行讨论.

1 土垫旱耕人为土的剖面、供试土样和分析方法

1.1 土垫旱耕人为土的剖面

据考证,距今五六十万年前，蓝田猿人在灞河阶地上繁衍生息. 公元前11世纪，周人的先祖在关中西部教民耕种，先后有13个王朝在长安建都. 普遍的农业生产活动，施用土粪(约有20%以上的黄土)，不断堆垫迭加，而形成了>50cm的堆垫表层（图1)，并分化成耕作层，犁底层及老耕作层，古耕作层[1,3]等. 堆垫表层以下为自然土壤，由堆垫表层与下伏土壤构成土垫旱耕人为土（图1).

1.2 供试土样与分析方法

1.2.1 供试土样:供试土样采自汾渭盆地，主要地貌类型，生态环境和耕种状况见表1.

1.2.2 分析方法:按常规方法测定土壤pH，$CaCO_3$，有机质，颗粒组成和土壤主要元素[4].

表 1 土垫旱耕人为土主要类型的理化性质

剖面编号与地点	年降水(mm)	耕种状况	亚类名称	发生层标志[5]	深度(cm)	pH	$CaCO_3$ (gkg^{-1})	有机质 (gkg^{-1})	颗粒组成(mm, gkg^{-1})		
									2.0–0.05	0.005–0.002	<0.002
Stc92–02 陕西澄城城郊乡四级阶地	544.0	一年一熟或两年三熟制	石灰性土垫旱耕人为土	Aup1	0–14	7.95	85.2	10.97	33.1	652.7	220.6
				Aup2	14–26	7.90	87.1	8.72	45.5	652.5	217.9
				Aupb	26–48	8.15	75.5	5.08	48.9	677.2	200.5
				Bupb	48–71	8.25	73.5	5.51	76.8	614.3	237.6
				2A	71–107	8.22	50.3	7.33		616.8	292.7
				2Btx	107–132	8.22	166.6	5.08	161.8	566.5	214.5
				2BK	132–190	8.17	170.5	3.41	43.6	597.1	185.9
				2C	190–225	8.12	141.4	3.15	35.6	629.7	189.1
Stc93–06 咸阳杨陵大案乡四级阶地	585.7	一年两熟制	粘淀土垫旱耕人为土	Aup1	0–16	8.21	75.43	19.43	1.1	601.7	279.7
				Aup2	16–30	8.25	74.3	18.26	4.3	589.4	279.0
				Bupb1	30–46	8.32	62.1	16.32	0.4	615.4	271.1
				Bupb2	46–62	8.24	33.0	15.15	0.4	642.6	286.8
				2A	62–80	8.20	15	15.14	0.4	645.0	312.4
				2Btx1	80–102	8.28	2.5	15.65	0.7	612.6	344.2
				2Btx2	102–144	8.02	2.5	10.48	0.8	570.2	383.9
				2Btx3	144–165	8.15	25	14.66	0.1	624.3	322.3
				2BK1	165–200	8.52	132.4	11.95	11.9	591.2	232.5
				2BK2	200–225	8.55	162.9	13.39	0.7	562.8	210.8
Stc93–07 咸阳杨陵李邰乡二级阶地	589.0	一年两熟制	潮湿土垫旱耕人为土	Aup1	0–17	8.45	54.5	21.51	67.2	551.2	293.7
				Aup2	17–34	8.37	53.5	18.36	57.9	552.7	289.5
				Bapb	34–50	8.58	55.5	17.91	58.4	545.7	291.0
				2A	50–72	8.38	94.5	19.36	20.3	483.4	345.7
				2Btx1	72–93	8.13	88.7	18.57	12.6	472.7	379.2
				2Btx2	93–122	8.25	4.77	17.70	17.7	544.2	343.2
				2BK	122–160	8.25	114.0	20.01	1.4	363.1	471.0
				2C	160–193	8.38	10.6	18.47	20.6	563.3	351.6
					193–212	8.45	10.6	14.82	33.0	592.4	335.5
Stc93–04 陕西周至马召乡秦岭山麓	708.8	一年两熟制	普通土垫旱耕人为土	Aup1	0–22	8.22	8.9	21.77	44.1	601.7	289.9
				Aup2	22–37	8.38	12.4	17.77	55.2	589.3	291.6
				Bupb	37–53	8.30	8.9	16.54	38.5	583.7	336.0
				2A	53–68	7.92	1.2	16.20	38.5	582.6	341.2
				2Btx1	68–108	8.10	1.2	20.16	18.0	606.3	344.2
				2Btx2	108–140	8.05	1.2	15.59	28.4	597.3	313.9
				2Bt3	140–180	8.15	1.2	15.93	54.2	603.9	284.0
				2BK	180–210	8.28	1.2	15.37	40.6	626.7	274.5

2 结果与讨论

鉴于元素的地球化学性质，行为及其在生物体中作用的不同可将元素分为生物积累元素和生物摄取元素两大类[6]。

2.1 生物积累元素(钙、镁、钾、钠、磷)

钙：钙在剖面的含量变化在 10.45–70.25 gkg^{-1}，即堆垫表层在 19.06–49.42gkg^{-1}，堆垫表下层在 10.45–28.59gkg^{-1}，碳酸盐淀积层和母质层在 13.91–76.25gkg^{-1}（表 2）。表明钙在剖面含量不仅高，而且不同层次相差十分悬殊；不同亚类的相应层次间的差异相对而言较小。土垫旱耕人为土钙在剖面呈上、下部高，中部低的分布特征（表 3）。钙在剖面上形成

此种含量与分布状况主要是耕种历史悠久，施加土粪等物质而形成的[1,7]。

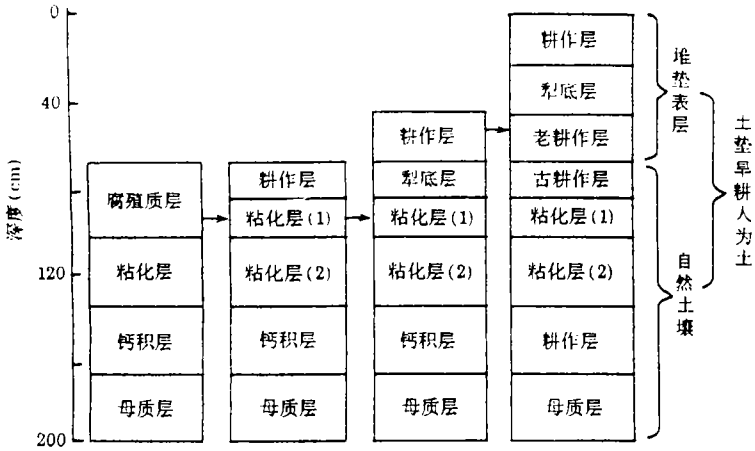

图 1　土垫旱耕人为土形成过程与土体构型

土垫旱耕人为土一般都具有钙的淋溶、淀积过程，但淋溶的程度与淀积的深度有所不同。同时由于施土粪堆垫的复钙作用，淋溶淀积使原土壤的表层和剖面的上部发生钙的次生积累现象，这就掩盖了原先土壤淋溶淀积的作用。

土垫旱耕人为土偏碱性，且为钙，镁等盐基所饱和[8,9]，影响其他元素的迁移富集。

镁：镁在剖面的含量在 8.32–15.14gkg^{-1} 之间，堆垫表层 8.32–12.90gkg^{-1}，堆垫表下层 8.74–15.14gkg^{-1}，碳酸盐淀积层和母质层 10.13–12.30gkg^{-1}（表 2）。总体而言，镁在剖面的含量虽有分异，但变化相对较小。

钾、钠：剖面中钾的含量呈堆垫表下层＞堆垫表层＞碳酸盐淀积层与母质层。堆垫表层一般呈现耕作层＜耕作层以下的层次。在自然土壤的成土过程中，钾在堆垫表下层呈增加或相对富集[10]。

钠的迁移性＞钾，主要受水分的蒸发与下渗的影响，因各地生态环境与地下水的深浅不同而有所差异：stc92–02 剖面地处半干旱的塬区，无灌溉条件，钠的含量呈现堆垫表层＞碳酸盐淀积层与母质层＞堆垫表下层，stc93–04 也有相似的趋势。stc93–06 剖面地处半湿润区且有灌溉条件的塬区，Na 的含量在 12.37–14.30gkg^{-1}；stc93–07 剖面地处渭河一级阶地，地下水位高，又有灌溉条件，钠的含量在堆垫表层为 13.34–14.86gkg^{-1}，堆垫表下层为 9.86–11.86gkg^{-1}，母质层已在地下水位之中了，含量达 21.04g^{-1}（表 2），富集系数呈现母质层＞堆垫表层＞堆垫表下层。钠在剖面中的分布基本上呈现两种状态，即堆垫表层，碳酸盐淀积层与母质层高，堆垫表下层低；堆垫表下层高，而堆垫表层与碳酸盐淀积层与母质层低等。

磷：磷是弱移动元素[6]，但是生物吸收强度大的元素[6,7]，它在土垫旱耕人为土剖面中的迁移富集，需要更多的考虑磷的生物化学特性与相应的土壤化学环境。土堆垫旱耕人为土剖面磷的含量与分布状态是：磷的含量在 0.434–1.020gkg^{-1} 之间。stc92–02、stc93–06 剖面，其含量呈现堆垫表层＞碳酸盐淀积层与母质层＞堆垫表下层。stc93–07 与 stc93–04 剖面磷的含量基本上是从耕作层向下逐渐降低的。

在碳酸盐风化壳的土壤上[9]，磷的含量与钙的含量是息息相关的。黄土区土垫旱耕人

为土堆垫表层，碳酸盐淀积层和母质层的无机磷组成中以 Ca-P 为主要形态，占全磷的 47.9-75.1%，平均为 60.5%； Al-P 仅为 1.6-5.6%，平均为 3.5%，Fe-P 更少，只占 0-2.6% [7]。

表 2 土垫旱耕人为土主要元素的含量(gkg^{-1})

剖面号	深度 (cm)	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na	Ti	Mn	P
stc92-02	0-14	290.7	63.64	23.56	49.42	9.89	20.0	14.37	5.14	0.581	0.918
	14-26	292.5	63.64	25.29	42.64	9.47	19.75	14.30	5.14	0.557	0.878
	26-48	301.6	62.79	22.51	40.38	8.32	19.42	14.67	5.23	0.488	0.760
	48-71	300.0	65.07	25.86	36.47	8.74	20.92	14.08	5.82	0.565	0.799
	71-107	299.1	71.42	26.14	28.59	9.28	19.01	12.82	5.74	0.642	0.793
	107-132	259.1	60.67	25.72	6848	9.71	18.50	13.33	4.46	0.534	0.833
	132-190	257.9	59.67	25.23	70.25	10.13	18.50	13.56	4.88	0.534	0.828
	190-225	267.3	61.08	24.33	58.8	10.37	17.92	13.28	5.31	0.596	0.801
stc93-06	0-16	284.0	70.09	34.53	40.60	12.66	21.17	13.86	5.14	0.689	1.040
	16-30	282.4	69.41	32.43	40.60	12.94	21.66	13.86	5.48	0.634	0.900
	30-46	291.8	69.67	31.39	34.87	12.90	21.41	14.08	5.57	0.670	0.85
	46-62	303.3	71.47	34.53	23.40	11.90	22.16	14.30	5.83	0.720	0.750
	62-80	316.3	73.74	34.53	11.58	10.49	22.16	14.30	6.08	0.720	0.590
	80-102	310.8	76.39	37.67	11.01	10.49	22.65	13.86	6.17	0.720	0.590
	102-144	299.1	82.68	42.92	10.87	11.93	23.57	12.37	5.83	0.720	0.750
	144-165	305.5	79.14	38.73	10.45	12.30	23.57	13.34	5.91	0.720	0.770
	165-200	268.0	66.76	30.97	55.77	11.93	19.67	12.82	4.97	0.620	0.870
	200-225	257.7	63.16	30.76	67.07	11.93	19.67	13.34	4.91	0.570	0.870
stc93-07	0-17	290.7	71.52	34.53	30.80	12.96	23.07	13.86	5.31	0.634	1.101
	17-34	292.1	71.04	34.74	21.16	12.96	23.07	13.86	5.23	0.611	1.010
	34-50	289.8	71.73	34.74	21.16	12.96	23.07	13.34	5.40	0.650	1.010
	50-72	260.7	73.58	38.72	44.41	15.13	23.57	11.86	5.31	0.634	0.930
	72-93	262.2	75.86	40.82	40.52	14.33	24.07	11.86	5.31	0.720	1.020
	93-122	288.8	71.22	36.84	25.34	14.05	24.07	13.34	5.84	0.673	1.020
	122-160	244.9	80.57	40.82	44.34	15.14	25.56	9.86	5.31	0.906	0.870
	160-193	305.6	76.28	36.27	12.00	11.58	23.57	21.04	5.74	0.666	0.710
	193-212	307.6	76.39	36.27	12.36	12.30	23.57	21.04	5.40	0.541	0.840
stc93-04	0-22	306.9	80.46	32.08	19.49	11.50	21.08	12.60	5.99	0.696	0.860
	22-39	305.5	75.38	32.57	19.06	11.10	20.58	12.82	5.99	0.696	0.845
	39-53	303.2	78.13	32.08	19.13	12.00	21.08	12.60	6.08	0.696	0.181
	53-68	312.7	76.33	31.25	15.96	10.13	20.25	12.37	6.17	0.696	0.692
	68-108	306.5	79.35	34.60	16.52	11.03	20.09	12.30	6.17	0.766	0.647
	108-140	316.1	75.27	32.08	15.17	11.03	20.09	11.63	6.26	0.696	0.602
	140-186	320.5	72.90	29.56	14.56	9.41	20.09	12.60	6.26	0.696	0.506
	186-210	327.1	69.82	27.89	13.91	9.17	20.09	13.34	6.34	0.758	0.434

2.2 生物摄取元素(硅、铝、铁、锰、钛)

硅：Si 是弱移动元素，它在剖面中的含量为 244.9-327.1 gkg^{-1}(表 2)，在 stc92-02、stc93-06 剖面中，堆垫表下层高于上下层次。stc93-07 剖面，堆垫表层为 289.82-292.11gkg^{-1}，堆垫表下层为 244.94-288.79gkg^{-1}，母质层为 305.60-307.56mg。硅在剖面的此种分布状况在关中平原北山的山前槽形洼地的土垫旱耕人为土也有此种状况，渭河南的扇缘洼地的土垫旱耕人为土也有此种状况。stc93-4 剖面硅的分布呈现母质层 > 堆垫表下层 > 堆垫表层。

硅在土垫旱耕人为土的堆垫表下层含量的增加与粘粒含量适量增加同步[1,8]，黄土区不同时代古土壤硅含量是显著增加的[10]．硅在剖面含量变化与钙的含量变化密切相关，但也有例外．

表 3　土垫旱耕人为土的元素富集系数*

剖面号	深度 (cm)	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na	Ti	Mn	P
stc92–02	0–14	1.05	1.00	0.94	0.82	0.93	1.08	1.01	0.97	0.95	1.11
	14–26	1.06	1.00	1.00	0.70	0.89	1.07	1.01	0.97	0.91	1.06
	26–48	1.11	1.00	0.91	0.67	0.79	1.06	1.04	0.98	0.83	0.93
	48–71	1.23	1.15	1.17	0.69	0.93	1.28	1.12	1.10	1.04	1.10
	71–107	1.21	1.25	1.16	0.53	0.97	1.15	0.99	1.08	1.16	1.07
	107–132	0.81	0.82	0.89	0.97	0.79	0.87	0.80	0.84	0.75	0.87
	132–190	0.87	0.89	0.95	1.10	0.87	0.95	0.91	0.92	0.82	0.95
	190–225	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
stc93–06	0–16	1.20	1.21	1.22	0.66	1.16	1.20	1.13	1.09	1.32	1.30
	16–30	1.27	1.27	1.22	0.70	1.26	1.28	1.21	1.16	1.29	1.20
	30–46	1.34	1.30	1.20	0.61	1.28	1.28	1.25	1.18	1.39	1.15
	46–62	1.46	1.40	1.39	0.43	1.24	1.40	1.33	1.24	1.57	1.09
	62–80	1.58	1.50	1.45	0.22	1.13	1.45	1.38	1.29	1.63	0.87
	80–102	1.58	1.58	1.60	0.22	1.15	1.51	1.36	1.31	1.05	0.89
	102–144	1.44	1.62	1.73	0.20	1.24	1.49	1.15	1.24	1.57	1.09
	144–165	1.48	1.57	1.57	0.19	1.29	1.50	1.25	1.25	1.58	1.11
	165–200	1.10	1.12	1.10	0.88	1.00	1.06	1.02	1.06	1.26	1.16
	200–225	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
stc93–07	0–17	0.93	0.92	0.93	2.44	1.03	0.96	0.65	0.98	1.15	1.28
	17–34	0.92	0.90	0.93	1.66	1.02	0.98	0.64	0.97	1.10	1.16
	34–50	1.02	1.01	0.96	1.74	1.14	0.95	0.63	1.08	1.20	1.20
	50–72	0.83	0.94	1.05	3.52	1.21	1.00	0.55	0.98	1.15	1.09
	72–93	0.84	0.97	1.10	3.23	1.14	1.00	0.55	0.98	1.30	1.19
	93–122	1.01	1.01	1.10	2.21	1.12	1.10	0.68	1.08	1.34	1.31
	122–160	0.78	1.03	1.10	3.52	1.33	1.06	0.62	0.98	1.64	1.01
	160–193	1.05	1.16	1.06	1.03	0.99	1.06	1.06	1.06	1.31	0.89
	193–212	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
stc93–04	0–22	0.88	1.09	1.08	1.32	1.18	0.99	0.88	0.94	0.86	1.86
	22–39	0.88	1.01	1.10	1.29	1.14	0.96	0.90	0.94	0.86	1.16
	39–53	0.89	1.07	1.12	1.32	1.26	1.01	0.91	0.96	0.88	1.79
	53–68	0.93	1.06	1.10	1.11	1.07	0.98	0.90	0.97	0.89	1.55
	68–108	0.91	1.10	1.20	1.15	1.17	0.97	0.97	0.97	0.98	1.45
	108–140	0.96	1.07	1.14	1.08	1.17	0.99	0.86	0.99	0.91	1.37
	140–180	0.97	1.03	1.05	1.04	1.02	0.99	0.83	0.99	0.91	1.15
	180–210	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

* 元素富集系数 $= \frac{\text{该层元素含量}}{\text{母质层元素含量}} \times \frac{\text{该层}Ti\text{含量}}{\text{母质层}Ti\text{的含量}}$

铝、铁在剖面的含量分别在 60.67–80.57gkg^{-1}，22.51–42.92gkg^{-1} 范围内，但不同亚类有所分异（表 2）．

铝、铁在土垫旱耕人为土剖面分布为：堆垫表下层 > 堆垫表层 > 碳酸盐淀积层与母质层．

锰、钛两元素在土垫人为土剖面的含量分别是 0.541–0.785gkg^{-1}，4.46–6.34gkg^{-1}．虽然锰、钛在多数环境中为难移动元素，但在黄土区一些土壤的成土过程仍有迁移富集．总体而言，锰、钛在剖面分布呈中部高于上、下部．

综上所述，土垫旱耕人为土的钙、磷、钠，特别是钙、磷，在剖面分布形态相似，呈现上、下层段高，而中部低，但作用的机理则是完全不同的．由于施用土粪而逐渐增厚的堆垫表层富含碳酸钙，同时钙的复淋淀作用，影响其下层，同原土壤剖面一起形成钙在土垫旱耕人为土此种分布．完全不同于原自然土壤钙的剖面分布．

硅、铝、铁、镁、锰、钾、钛等元素在剖面分布因施土粪逐渐堆垫、降尘等作用，土壤被 Ca^{++}，Mg^{++}离子饱和，土壤酸碱度为偏碱性．上述元素一般移动性较小，故在堆垫表下层显著增加或者增加，故土垫旱耕人为土的上述元素表现为：堆垫表下层＞堆垫表层＞碳酸盐淀积层与母质层．

汾谓盆地是有着悠久耕种历史的古老农业区之一，由于耕种施用土粪等，使原有土壤成土过程被阻滞甚至逆转，形成了独特的有区别同一地带(地区)其他土壤类型[9]．在原土壤剖面上堆垫了 50cm 以上含有或富含碳酸盐的堆垫表层，使土壤剖面构型，理化性质与土壤地球化学特征等都有重大的转变．

2.3 土垫旱耕人为土的化学元素与理化性质、各元素相互关系和聚类

由于化学性质，生物化学特性与生态环境条件等因素的作用，致使各元素的地球化学过程，结果有相互的关系．

表 4 土垫旱耕人为土理化性质相关矩阵

项目	pH	O.M	砂粒	粉粒	粘粒	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na	Ti	Mn	P
pH	1.000														
O.M	0.327	1.000													
砂粒	−0.159	−0.046	1.000												
粉粒	−0.423	−0.219	0.075	1.000											
粘粒	0.008	0.648	0.014	−0.167	1.000										
Si	−0.210	0.192	0.157	0.549	0.112	1.000									
Al	−0.019	0.671	0.054	−0.006	0.884	0.385	1.000								
Fe	0.233	0.683	−0.234	−0.287	0.854	−0.030	0.786	1.000							
Ca	0.099	−0.359	−0.079	−0.399	−0.468	−0.765	−0.654	−0.383	1.000						
Mg	0.418	0.654	−0.216	−0.443	0.584	−0.469	0.418	0.770	0.075	1.000					
K	0.270	0.645	−0.247	−0.206	0.795	−0.025	0.647	0.874	−0.342	0.761	1.000				
Na	0.241	−0.081	−0.119	0.191	−0.142	0.256	−0.105	−0.063	−0.187	−0.129	0.107	1.000			
Ti	−0.234	0.363	0.156	0.367	0.455	0.816	0.641	0.245	−0.788	−0.187	0.159	−0.101	1.000		
Mn	−0.085	0.622	−0.076	−0.086	0.780	0.186	0.753	0.635	−0.413	0.387	0.487	−0.431	0.950	1.000	
P	0.301	0.172	−0.061	−0.264	−0.046	−0.600	−0.177	0.156	0.449	0.602	0.296	−0.014	−0.637	−0.277	1.000

$r_{0.05} = 0.325$ $r_{0.01} = 0.418$

各元素与理化性质的关系(表 4)：(1)与 pH 的关系：硅、铝、钛、锰与 pH 呈负相关，但相关程度不高，铁、钙、镁、钾、钠和磷与 pH 呈正相关，其中仅镁达到 0.01 水平；(2)与有机质的关系：仅钙、钠与有机质呈负相关，钙达 0.05 水平，除钙、钠外，其他元素呈正相关，仅硅、磷相关程度低，其他元素达 0.05 水平以上；(3)与砂粒关系：除硅、铝、钛外，其他元素呈负相关，不论负相关，还是正相关，都未达显著水平；(4)与粉粒的关系：与硅、钠、钛呈正相关，硅达 0.01 水平，钛达 0.05 水平，与其他元素呈负相关；(5)与粘粒关系：

钙、钠、磷与粘粒呈负相关，钙达 0.01 水平，与其他元素呈正相关，除硅外，都达到了 0.01 水平，说明在粘粒增加过程中，它们都是增加的[8]。

各元素之间的相关关系：从表 4 可以看出各个元素之间的关系，仅以主要的简述之，以两个较易移动的元素为主(钙、钠)，钙与硅、铝、铁、钾、钠、锰、钛呈负相关，除钠外，其他元素达到 0.05 水平以上，与磷、镁呈正相关，与磷的相关达 0.01 水平。钠与铝、铁、钙、镁、钛、锰、磷呈正相关。从土垫旱耕人为土来说，钙与各元素的关系在成土过程中有着特殊的作用。

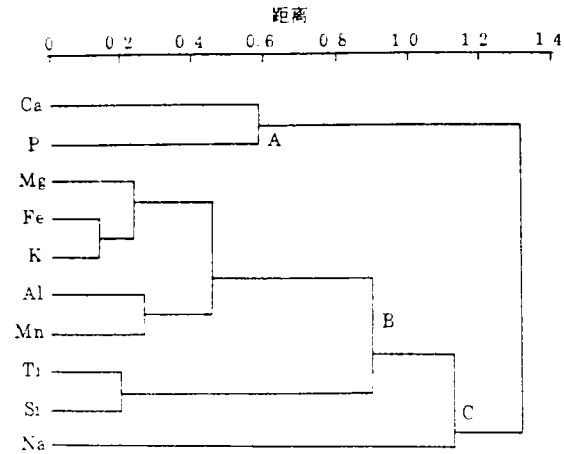

图 2　元素聚类分析图

各元素的聚类分析图：据各个元素在土垫旱耕人为土剖面的含量与分布特征，用聚类分析进行聚类（图 2）。以欧氏距离系数大小及经验确定聚类临界欧氏距离，进行类型的划分：以 0.915 为界，0.915 以下为 A 类，元素为钙、磷；0.915 以上为 C 类，元素为钠；0.915 为 B 类：元素为铝、锰、镁、钛、铁、钾等。分这三类与元素在堆垫过程，原土壤成土过程中元素本身的特性，生物地球化学特性息息相关的，反映了土垫旱耕人为土的成土过程与特点。

参 考 文 献

[1] 朱显谟，黄土，北京农业出版社，1964.

[2] 龚子同，具有人为特性的土壤，中国土壤系统分类探讨，北京科学出版社，1992，9–17.

[3] 刘鹏生，土壤研究文集，陕西天则出版社，1989.

[4] 中国科学院南京土壤所土壤系统分类课题组，中国土壤系统分类土壤物理和化学分析方法，1992.

[5] 曹升赓，供中国土壤系统分类用土层划分和命名草案，中国土壤系统分类进展，北京科学出版社，1993，7–13.

[6] 于天仁，陈志诚主编，土壤发生中的化学过程，北京科学出版社，1990.

[7] 朱显谟，黄土高原土壤与农业，北京农业出版社，1989.

[8] 朱显谟，中国黄土高原古土壤中粘粒移动问题探讨，土壤学报，1994，31(4):371–375.

[9] 龚子同，我国内陆风化壳的地球化学类型，土壤专报，1980，37 号.

[10] 刘东生，黄土与环境，北京科学出版社，1985.