

I 土壤地质背景研究

土壤地质学的农业应用研究展望

庄 锦 良

(湖南省地质研究所 长沙 410007)

土壤起源于岩石,也是岩石风化破坏之后的必然产物,在19世纪还没有独立的土壤学科分出时,它是附属于地质学的。当时,地质学家李希霍芬(F. V. Richthofen)认为:土壤学是地质学的一部分,土壤形成过程就是岩石矿物风化过程和地质循环过程,而没有涉及到农业问题。但作为土壤起源的地质学基础,无论是土壤自身基础理论的研究,或第四纪土壤形成的近代研究,土壤发育与全新世记录、更新世古土壤发育过程以及过去和现在人类活动对土壤形成发育的影响,都必须充分应用地质学基础,加强土壤与地质学的密切结合,从而促使土壤地质学科的发展。

我国人口众多,耕地不断减少,生态环境日趋恶化,土地承载力下降,这已成为我国农业发展所面临的严峻形势。如何迎接这一挑战?土壤地学研究就成为地学界和土壤界一些专业研究者共同关注的问题。自80年代以来,土壤地质工作者从不同角度进行了探索,涉及了广泛的土壤地质问题,诸如土壤生态环境对农业的制约;土壤地质背景及土壤改良;农用潜在矿物资源的开发利用;土壤地球化学调查;全球变化;水土流失防治及土壤环境保护;土壤区域水文地质及水质评价;名、优、特、新产品土壤地质背景研究等等,都为土壤地质学科的发展展示了广阔的前景。

1 土壤地质背景研究

土壤地质背景在控制植物的地域性选择和优劣势方面具有普遍意义,即在不同土壤地质区内往往形成不同的土壤和植被类型。在石灰岩和其他富含钙的岩石风化壳,即使在华南强酸性淋溶条件下,也仍然发育成钙质土壤,并生长着由许多喜钙植物所组成的群落。华南牧场的牲畜,如果不在饲料中增添钙或牧场干草全钙量低于0.5%时,家畜就会失去其良种性质——体型变矮、骨骼脆弱、易患缺钙症。而福建的茶农,很早就知道在石灰岩风化壳上是不适宜种植茶叶的,即使是含钙量较低的白云岩风化层发育的土壤,种植茶叶也不耐贮藏,茶农称为“漏风”,有霉味。

由花岗岩类风化壳发育的酸性红壤,除作物必需的大量和微量营养元素缺乏外,过量的铝、铁也常常构成龙眼果树和水稻作物高产的限制因素,往往也是形成低产冷浸田或烂

泥田水稻铁中毒的重要原因。

岩石组合（岩石体）及其经风化搬运而成的堆积物或沉积物是单源型土和混源型土的先天性条件（前者指形成土壤的母岩经混合而成），土壤学称为母质。早期著名的地质学家 F. A. 法鲁则称岩石表面疏松层为土壤，可见土壤与岩石的关系是不可分割的。因此，土壤地质背景的研究就成为土壤地学研究最重要领域。1998年 陆景冈出版了《土壤地质学》一书，以较大的篇幅阐述了地质学与土壤学的关系，对土壤地质发展成为地学科学在土壤学上的一专门基础理论学科起了促进作用。土壤学家在土壤学上也已充分考虑地质背景因素。庄卫民在对福建土壤类型进行系统分类研究时，根据成土母岩的特征来划分单源型土壤，并与岩石类型相对应，由此建立起岩土体系。这样的划分不仅反映了土壤与岩石体的内在地球化学联系，而且对诊断成土年龄，以及土壤分类中母质特征的筛选是十分必要的。众所周知，目前土壤分类还没能像地质科学有一个国际通用的地层分类系统，这不仅限制了土壤科学资料的相互比较，而且使土壤研究成果的交流也受到很大的限制。

从农业科学的角度看，据李正积等的研究^[1]认为：江津、万县、合川是四川柑橘种植的主要优势地带。最适宜柑橘种植的土壤地质背景条件是：长石砂岩或富岩屑砂岩的单源类砂质土和砂粘土，该地区沙溪庙组砂泥岩互层发育区也是最适宜的地层条件。再如对中外闻名的山东肥城桃、浙江玉环柚、河北金丝小枣、云南烤烟及橡胶、湖北柑橘等作物的土壤地质背景的研究，解决了扩大生产，提高品质和异地栽培的难题。

漳州九湖水仙花种植区的地层为全新统的海积层，在距今约 5000 年全新世的长乐海侵期，海水侵入到漳州的园山山麓，康山附近，沉积了一套较厚的灰黑淤泥层，含有贝壳、腐殖质及炭化木等，暴露地表后的淤泥经脱水氧化，人为耕作熟化后具有较好的保水、保肥性能及较高的肥力，使这里形成一项独特的花卉生产基地。

2 土壤地球化学调查研究

在新疆塔里木盆地西部平原，长春地质学院等单位开展的绿洲沙漠化、土壤沙化、盐渍化，地球化学环境与人畜病害和水资源开发利用的综合研究。不仅为大农业环境资源的综合利用和流域规划、国土整治提供了科学依据，而且还创造了显著的经济效益和生态效益，使土壤地质学科的应用延伸到国土整治的多个方面。

福建、四川等已完成的土壤微量元素地质背景值调查，确定出土壤中微量元素的临界值。四川省更进一步在 93.33 多万 hm^2 耕地上科学推广微量元素肥料在水稻、玉米、油菜、柑橘等农作物上应用，增产达 10%~16%，创造了巨大的经济效益。

浙江杭嘉湖平原区，朱立新等（1990~1993）在 1 万 km^2 范围内，开展了系统的区域地球化学调查。采集土壤、植物（水稻、油菜、茶叶、桑、麻、蔬菜等）和不同介质样品 1.2 万余件定量分析了 39 种元素（氧化物）及 14 种元素有效量。相应地对区域土壤地球化学特征、农业环境进行研究，取得 10 多项成果。并据此对茶叶种植区进行了区划。这都证明了土壤地质学科应用范围的扩大。查明土壤地球化学背景也是土壤地质学实际应用的范畴。在河北抚宁地区，利用已有的 1:20 万区域化控资料，开展提高水稻、玉米、花生、苹果产量的应用试验研究；在河南许昌地区，根据土壤地球化学调查，开展提高烟草品质及产量的农业应用试验研究，均取得明显的经济、社会效益。

胡国俊等(1994)在测定柑橘果实生长过程中,发现微量元素在柑橘果实不同生长期中,含量不断地发生着变化。无论是甜橙还是蜜橘,在测定的Cu、Mn、Ti、Co、Ni、P、Ca、Mg、K、Al、Fe、Zn、B、Si等14种元素中,除K外,其他的元素在未成熟的青果中,含量都比成熟果实中的为高;而K正好相反,在成熟果实中的含量比青果中的高。蜜橘中的Mn、Co、Ni、Ca、Mg、Fe 甜橙中的Mn、Fe、Zn,一般相差在4~5倍,个别的达10倍以上。元素的含量总体上表现为生长期中高,而成熟后含量降低。这种迁移变化,说明柑橘在生长的不同阶段,对元素的需求量有差别。在生长期需要充足的微量元素维持其生理活动。此时,如果土壤中元素供给跟不上需要,就会发生缺素现象,严重的会影响柑橘的生长。据陈秋玲等^[5]在研究浦城柰李生长在含硼量特别低的变质岩或凝灰岩风化发育的红壤中,更易患“枯枝小叶症”。

在鄂西柑橘种植最优岩石土体系筛选研究中,陈德兴等对各土壤地质区的岩石、土壤样品进行Ca、Mg、Fe、K、P、Cu、Mn、Zn、Ti、Mo、S、B等12种元素分析,土样8个元素有效态测定。查明了岩石中柑橘营养元素的含量状况,即岩石所能提供的营养元素的水平。结果表明不同土壤地质区的这一水平有很大差异。桔园土壤剖面调查表明,不论何种类型土壤,多种元素含量在20~40cm层位比表层土(10~20cm)低,40以下变化复杂。若以柑橘吸收力强的细根发育深度(约在20~60cm之间,以20~40cm最为发育)来审视土壤剖面中元素的含量分布,那么,在土壤改良及施肥中应特别注意20~40cm深度土层营养元素的肥力补充。研究还表明,除B外,营养元素在土壤中的有效态含量与其全量有正相关关系。

土壤地质科学认为,岩石-土壤(水体)-作物是一个统一的整体。研究岩石作为潜在资源对土壤组成,对作物吸取矿物质及其品质的影响,筛选出作物种植的最佳地质、土壤地球化学背景,对优化作物的品质,提高质量是很有意义的。

3 矿物、岩石肥(饲)料的应用研究

利用矿物或岩石改良土壤,或作为牲畜饲料的添加剂,达到农业增产的目的是土壤地质工作的另一重要任务。

3.1 农用矿物、岩石资源

除磷、钾、硫等传统的应用矿物原料外,许多非金属矿物及部分岩石资源在农用肥料、改良土壤、作为饲料和农药的添加剂与载体等方面具有重要的作用。

含钾矿物、岩石:我国钾盐资源缺乏。但富钾岩石分布广泛,品种多。如富钾流纹岩、钾长石斑岩、粗面岩、响岩及含钾的页岩、砂岩等,其中 K_2O 含量一般为5%~12%,高的可达15%以上。

作化肥添加剂、掺合剂的有:膨润土、硅藻土、蛭石、沸石、白云石等,而沸石和膨润土等还可作饲料添加剂使用。

3.2 开发应用研究

磷肥:我国磷矿丰富,但品位不高,一般含磷16%~28%,制成磷肥成本高。目前已探索把磷矿石直接煅烧,使其晶体裂解,磷素状态发生变化,作磷矿粉直接施用,或把磷矿粉与猪粪堆沤、发酵后施用。

钾肥：阻碍我国农业发展的主要因素之一是国产钾肥紧缺。过去以不溶性富钾页岩、钾长石等为原料生产钾肥，能耗大、产量少、钾含量低，难以满足农业生产的需要。1995年，由地矿部地质力学所主持和中国农科院土壤肥料所、北京大学技术物理系共同承担的农用钾矿资源开发研究，采用物理、化学、生物等方法进行含钾岩石中结构钾的活化试验，取得可喜进展，其中生物法最具开发前景。生物法以经核辐射诱发筛选的 K-907 菌株为活化剂，使含钾岩石中的结构钾转化为植物可吸收利用的溶性钾。这种 K-907 菌株不仅能分解钾，而且还能分解磷和其他微量元素，作为农作物提供除氮以外的较齐全养分，同时这种菌株在繁殖过程中能分泌出作物生长激素，其综合肥效接近或超过等量的氯化钾，可望成为一种优良的天然含钾无机肥料。我国含钾岩石分布广泛，储量大，折合氧化钾约 50 亿 t。这一研究成果在我国农业生产中具有广阔的应用前景。

由于我国地域辽阔，地质和土壤条件极为复杂，农业区域性强，需要用土壤地质学方法解决的问题很多。要推进农业-水、土资源——生态、地质环境系统的建立，有许多工作要做。这就需要组织农学、土壤、地质、地理、环境等多部门的科技人员通过多学科、多领域、多途径的相互结合、交叉、渗透的综合研究来解决大农业发展面临的诸多问题。使我国农业生产迈上一个新台阶，走出一条具有中国特色的解决人口、资源、环境问题的新路子。一个理论学科的发展，只有当其在国计民生的应用中受到普遍的重视，它就能成为促进社会生产力发展的动力，其科技力度的发挥是无限量的，地质是这样，土壤地质学更是这样！

参 考 文 献

- [1] 李正积 .1986, 地质与农业. 成都: 四川科学技术出版社
- [2] 朱立新等 .1994, 浙江杭嘉湖平原区农业环境地球化学调查和研究成果. 矿物岩石地球化学通讯, (3)
- [3] 胡国俊等 .1994, 柑桔生长过程中的几个农业地质、地球化学问题. 矿物岩石地球化学通讯, (3)
- [4] 陆景冈 .1998, 土壤地质学. 北京: 地质出版社
- [5] 陈秋玲等 .1998, 柰枯枝小叶症的诊断与防治技术研究. 福建农业学报 13 (增刊)

从新构造运动观点论福建省红砂岩土的分布规律与利用问题

陆景冈¹ 唐根年¹ 李 健² 毛东明³

(¹ 浙江大学 杭州 310029; ² 浙江省杭州市土管局; ³ 浙江省衢州市科协)

1 福建省新构造运动概况

从地质板块学说看,福建省属环太平洋构造变动带,它处于太平洋板块向亚洲板块俯冲接触的前缘,由此提供了地壳上升的动力,这在新构造运动期间有明显表现。

塑造地形骨架的三条深断裂都呈 NE 至 NNE 走向,它们在近期都有一定活动,体现在对地形的强烈控制,自东向西依次是长乐—南澳深断裂;政和—大埔深断裂;崇安—石城深断裂^[1]。福建抬升最强的是武夷山北段主峰黄岗山一带(华东大陆第一高峰,海拔 2158 m),造成全省地势自西向东南倾斜,低山丘陵错综其间,素有“东南山国”之称。

2 红砂岩土的分布规律

红砂岩土主要发育于白垩系的红砂岩上,在福建包括下白垩统禾口组(K_1h)及上白垩统沙县组(K_2sh)与赤石群(K_2ch)。

2.1 “红岩盆地”中的红砂岩土

因系陆相红色火山喷发沉积和红色复陆屑建造,在盆地内经红化形成,所以与盆地地形相联系,在我国南部普遍存在,又称为“红岩盆地”,其相邻处也常见第四纪红色粘土。通常盆地外围为更古老的地层(中生代火山喷出岩、花岗岩或古生代地层),盆地内缘为红砂岩低丘,近盆地中心则为第四纪新老堆积物^[2]。红砂岩地区常为平缓起伏的丘陵以高阶地形式出现,相对高度为 50~200 m 之间。如闽北崇安盆地,在河床以上 20 m 左右的阶地上分布第四纪红土及部分红砂岩,在高 30~40 m 的阶地上分布 K_1 或 K_2 的红砂岩地层,盆地外围则为花岗岩或火山凝灰岩等较高山地,符合一般常见规律。只是由于地壳上升较剧烈,盆地内的阶地面狭窄。

2.2 新构造运动与红岩盆地的分布

福建红岩盆地多为沿大断裂分布的断陷盆地。但大范围看,盆地可位于不同程度的新构造上升区。在地壳强烈上升区,因形成后的盆地受强烈剥蚀,致盆地面积小、数量少,反之上升较弱区,则盆地多而面积大^[2]。福建全省多为新构造运动上升强烈区,所以红岩盆地

分布零星，面积较小，这与邻省江西与浙江等相比，非常明显^[4]。

2.3 福建省的红岩盆地与红砂土

综观全福建，红岩盆地以分布在政和—大埔与崇安—石城两大深断裂带之间为多，这与西侧武夷山脉和东侧戴云山脉的近期强烈上升有关。上述二深断裂之间为相对剥蚀较弱的地段，所以红岩盆地较易保留。

福建省在新构造运动中北部上升较南部为强，所以红岩盆地也是南部多于北部。从两深断裂间的集中分布带看，南部连城、永安、上杭、武平诸县几乎都有面积较大的红岩盆地，而北部只有崇安与松溪的盆地面积稍大，至深断裂外侧稍远处的宁化与大田等处，也有少量红岩盆地，同样体现了闽西南多于闽北的规律。

福建大部红岩盆地多靠近两个深断裂，似说明小型断块盆地的形成与深大断裂的内动力有一定联系。从各小型断块盆地周边主要断裂线的走向看，崇安、连城、武平、沙县、松溪等地的 NE 向最为重要，此外，还有正 SN 向一组也较明显，说明这些盆地可能是在多次构造运动影响下形成。

3 红砂岩土的利用与改造

3.1 新构造运动影响下的水土流失

福建的红砂岩面积较小，它远没有其他较古老地层的变质岩和侏罗系以及花岗岩等的分布广泛。但是由于构造原因形成的红岩盆地以及新构造运动中的继承发展，使这些面积不大的红砂岩地区绝大部分成为重要城镇的所在地^[4]。福建省的武夷山、松溪、泰宁、连城、上杭、永安、沙县等都是。此外，建瓯、清流、武平等县所在地也与红砂岩区相距不远。这样使红砂岩土的利用显得重要，但也因此造成更多的水土流失。

红砂岩土易遭受水土流失的原因，一般多归因于土壤砂性太强，粘结性太低所致，实际上除了这些和上述盆地地形的影响有关外，其重要原因在于红砂岩多位于高阶地上，新构造运动上升使其易受流水切割。红砂岩也因其易风化崩解，除断层与节理的切割部分外，常形成连片的平缓低丘，导致较多的农耕活动，如措施不当则易受侵蚀。

因红砂岩地区的水土流失较强，形成的土壤有较大比例的半荒地（薄层红壤性土）与裸岩石砾地（发育极弱的红壤性土）；还有相当比例的中层厚度红壤，全土层在 20~30cm 以内，酸性强（pH 值 5.0 左右），养分含量不高，多荒地，利用较好的旱地与水田只占很小的比例。

3.2 对红砂岩母质土壤发育的理解

红砂岩的特点是土层厚、颗粒均匀、含细砂与粉砂量高，易于沿节理与层面风化、崩坍，并遭受侵蚀，又因福建位处亚热带高温与多雨地区，致红砂岩地区水土流失严重。在传统的观念里常强调其易受侵蚀与土壤瘦瘠，对其改造与控制缺乏信心。在江西与浙江的类似地区，甚至有人认为该处只有供采石料之用，其原因是忽视了以下几项改土的有利条件：

(1) 红砂岩由于内部颗粒粘结力不高、水分与空气容易透入，所以易崩解。常常割裂暴露地面的岩块，经垦殖利用，便能成可耕种的碎屑层。如宁化禾口一带就直接在这种半风化碎屑上挖穴种植胡枝子，改良效果相当显著。这与它的构造上升、较厚范围的岩层已

长期受一定程度的风化作用有关。在亚热带地区普遍比较明显，这为它的改造创造了良好条件。

(2) 红砂岩母质土壤因砂性强，有机质不易积累，土性难以改善，但一旦土壤得到灌溉，湿度增加，有机质含量会稳步上升。这一情况在水田耕作条件下，得到充分体现，且水土流失也得到有效控制。红砂岩地区多为盆地内缘新构造运动相对上升和缓地段，灌溉与平整耕作也相对容易达到。

(3) 红砂岩上形成的土壤，因受强烈风化与淋洗，酸性很强，pH值多在4.5~5.5之间，造成作物种植上困难。据地质资料表明，红砂岩形成的白垩系至第三系早期，为干热气候，所以岩层中一般含钙、镁、钾等矿质元素，在淋洗不太强的半风化岩层中都可见到（通常在地下1~1.5m深处）。如能通过深耕，把这层翻至地表，可成为良好的土壤改良剂。

3.3 爆破深耕与红砂岩土的改造

(1) 理论依据 爆破深耕是采用轻度爆破方法，在红砂岩上形成供种植用的坑穴，达到快速改造的目的。这在浙江西部衢州一带已是成功推广的经验，至今已有10余年历史。

爆破深耕有一定的地质学前提。首先，它最适用于新构造运动轻度抬升的丘陵区。而强烈抬升的山区，坡陡石硬；沉降的堆积平原，土松多湿，都不宜采用。其次在岩性上，因红砂岩在亚热带地区已有一定程度的风化，内部胶结力不强，最为适合。

从理论上说，爆破深耕种植，在局部穴位上解决了积水防旱、加深土层、控制水土流失、促进岩石风化与成土以及增加从下层翻起的石灰质等多方面关键问题。这也是加速土壤肥力发展的有力措施。可以看出，它包括了上节所述的几项改土条件，充分发挥了有利因素。

爆破深耕适用于裸岩荒山，也适用于土层浅薄的林地与旱作地，用以营造果园尤为有利。

(2) 经验措施 在浙江衢州爆破深耕的方法是：钢钎打眼，填入炸药两节，用雷管引爆，炸成的坑可种树一株。据观察，爆后的种植穴内，既能蓄水，又不致过多积水，因红砂岩本身透水好，并常有构造原因或爆破造成的节理与裂隙。

经核算，按1998年现价，炸药每节0.8~0.9元，雷管每只0.5~0.6元，打眼15~20元/工，因岩石不很坚硬，每工可打眼15~25孔，则每改造1亩土地（按种树80穴计）成本仅300元左右。应该指出：这样改造是永久性的，收益是长远的，值得提倡。

4 红砂岩地区的旅游开发

4.1 新构造运动影响下的丹霞地貌

丹霞地貌是指中生代至第三纪形成的红砂岩地层（以红色粗、中粒碎屑沉积的厚层岩为主）在新构造运动间歇抬升作用下，受流水切割与侵蚀后形成的独特地貌。它具有顶平、坡陡、麓缓的形态，常具有奇、险、秀、美的丹崖赤壁和千姿百态的造型，有很高的观赏价值。

丹霞地貌的形成除了红色或紫红色的砂砾岩基础外，新构造运动中的适当抬升（以轻量至中量为主）是必要条件，在构造运动中产生的垂直节理与较厚的缓倾斜岩层构造等也不可少，所以并非所有红砂岩地区都可发育为良好的丹霞地貌。这种地貌在多雨的热带与

亚热带发育更好，干旱或半干旱区则相对较差。

一种发育完善的丹霞地貌常与较强的新构造运动发生相联系，因为由于挤压和扭曲的结果可导致流水对岩层更深的切割与雕刻，能更显其特点。例如广东仁化丹霞山位于粤北上升区；桂北—湘南的资源—新宁盆地位于南岭上升区；安徽齐云山位于黄山西侧的皖南上升区；江西的龙虎山与圭峰均位于武夷山北麓上升区等都是，这些大部均为国家名胜。对福建来说也不例外。

4.2 福建省的丹霞地貌资源

福建省红砂岩地层虽面积不大，但丹霞地貌的发育条件良好，几乎各该地层分布处都有一定程度的发育，这与红砂岩地区普遍的新构造上升较强有关。

新构造上升较强，丹霞地貌发育完美的地方，切过岩层的断层与节理也愈明显，如武夷山区有名的九曲溪即主要沿节理发育，其中七曲、八曲、九曲最为明显，有三个连续的直角转弯，走向受华夏式构造线控制；又如连城冠寨山景区也是有名的丹霞地貌景区：崇安武夷山位于间弱强烈上升区，它与华东第一高峰黄岗山（海拔 2158 m）相距不远；连城冠寨山位于闽东与九龙江的分水岭上，也是九龙江的源头，同样是强烈上升区。两处因发育条件好，同列为国家级风景名胜区。全福建广为宣传的重要风景名胜点，在沿海有厦门、泉州、福鼎几处，在内陆共有三处，全部与丹霞地貌有关，即上述两国家级景区再加永安桃源洞，可见红砂岩地区旅游开发的重要。

丹霞地貌也遵循一般地貌发育规律，如抬升后经历较长的地壳稳定时期，奇峰怪石与陡崖等会自然崩坍，地形逐步向老年期演化，成为“崩塌残余型”丹霞地貌^[5]，则观赏性较差。

4.3 丹霞地貌的开发

丹霞地貌是红砂岩土地区的特有资源，开发供旅游观赏有很高价值，作为旅游用地是土地利用分类中的特有类型，常可以较小的面积获得较大的收获，但在开发上应考虑以下各点：

(1) 红砂岩土的最大弱点是易产生水土流失，尤其在丹霞地貌发育良好的新构造上升区。目前，在风景区内有较大面积的裸露岩层，有些虽已造林，但因土层浅，树木生长很差。所以在绿化工作上应作出规划，对改造较困难的地段，可以使用爆破深耕方法。既可保护景区的持续利用，也可改善环境。

(2) 在发展旅游业的同时，应大力种植适合在红岩土上生长的茶、果等经济特产，并争取成为有一定规模的名、优产品。如精心布置，结合观赏可使之成为旅游的重要组成部分。

(3) 红砂岩土多紧靠城市边缘，旅游业的发展将促进经济繁荣；丹霞地貌景区大部在内陆新构造上升区，发展旅游业促进内陆比较滞后的经济。为达到上述目的，除搞好交通等配套设施外，应在沿海交通便利的城市和旅游点多做内陆景点的介绍、宣传，或提供旅游方便。

(4) 加强丹霞地貌景观的科学研究，在旅游景点设置展览与宣传，使游人对科学领域与地理全貌有一定了解，再配以人文景观，便可得到更多的满足。应突破一般旅游常局限于风光及欣赏形象的束缚，努力提高旅游的文化档次。

5 结 语

从以上所述可以看出：红砂岩土地理分布，包括红岩盆地的分布与面积；红砂岩地区的水土流失以及红砂岩地层的风化与成土；红砂岩地区特殊的丹霞地貌的形成与发展，都是地球内力作用与外力作用共同影响的结果^[6]。在很多情况下，以新构造运动为代表的地球内力作用起着更重要的作用。所以从新构造运动观点出发，分析红砂岩土壤问题，可以更好地深入问题本质，避免一般过多重视外力作用的倾向。这也就是新边缘学科——土壤地质学的重要内容之一。

参 考 文 献

- [1] 中国科学院编. 1980, 中国自然地理(地貌) 北京: 科学出版社, 13, 39~40, 140
- [2] 陆景冈. 1986, 新构造运动与红壤的分布规律, 中国土壤科学研究新进展(英文版), 南京: 江苏科技出版社, 520~529 页
- [3] 陆景冈. 1999, 土壤地质学(第六章). 北京: 地质出版社
- [4] 陆景冈. 1997, 从新构造运动观点论土壤形成与发育的时空概念. 见陆景冈主编: 土壤地质(四), 北京: 中国农业出版社, 1~5
- [5] 福建省地矿局. 1985, 福建省区域地质志. 北京: 地质出版社, 532~544

福建钙质土及其分类

陈文强¹ 庄卫民²

(¹福建省土地局 福州 350003; ²福建农业大学)

钙、镁元素是地壳中主要的阳电性组分之一,并为碱土金属中的最普通元素,几乎遍布土壤圈的每一个角落。而从生物圈出现后,二者则有趣地被分离富集在动、植物体内:钙被作为动物骨骼的基本组成成分之一,而镁则成为绿色植物中不可或缺的绿色要素,并且通过土壤和水分,使一切生物得到不断地满足生长繁衍的需要。

这两种元素在土壤中的存在几乎是并行的,不过由于绿色植物对镁素的富集更为直接和大量,同时,由于比重较大的镁硅酸盐具有富集地壳较深部的趋势,因而,使钙在土层中的分布,以克拉克值计,几乎比镁高约2倍以上,而作为岩石组成成分,钙往往能借助海洋和生物的富集,结果形成巨大的岩体出露,以致在海退的地质过程中,石灰岩就成为陆地表面上的主要沉积岩石类型,并风化形成主要的含钙质土壤。

在陆地表面上,主要的含钙质土壤有二种:一是直接由石灰岩风化发育的单元型钙质土,或称石灰(岩)土;另一是广泛分布在温带半干旱区的多元型的富含钙质土壤。由于强烈的蒸发作用,使地下水带入的 Ca^{2+} 往往能在土层的下位形成一特殊的 CaCO_3 淀积层,在我国第二次“土普”的分类中,将这类土壤统称为“钙层土”。

这两种土壤共同的标志矿物为 CaCO_3 ,本文统称为“钙质土”,但由于土壤成因截然不同,故将其区分为两个亚类型——单元母质型的钙质土和多元母质型的钙层土。

福建省因所处湿热的亚热带气候条件,土壤中的碱土金属元素几乎淋失殆尽,而极少见有“钙层土”的存在。故本文重点根据石灰岩发育的地质学特征,阐明本省钙质土类型的地理分布及其基础分类系统,以为野外调查鉴别和土地利用提供科学的依据。

1 福建钙质土亚类发育的地质学特征

晚泥盆世末,福建土壳缓慢抬升,海水局部退出。但从早石炭世开始,海侵又自西南方向进入,并扩展到整个闽西南地区,到晚石炭世,古海岸线基本稳定在富屯溪以南。故本省石灰岩的发育多集中分布在福安—南靖深断裂带以西和富屯溪—闽江以南的闽西南一带。由于沉积环境的不同和 CaO 含量的差异,本省钙质土发育的母岩可分为三种类型:

(1) 中石炭世黄龙炭岩(C_2h) 较纯的碳酸盐岩沉积,上部以灰岩为主, CaO 含量介于52.09%~55.79%之间,下部以白云岩为主, MgO 含量介于18.76%~20.50%之间,呈浅灰—灰黑色。

(2) 上石炭世船山灰岩(C_3)为单一的碳酸盐岩沉积,以灰岩为主,夹少量白云岩,

CaO 含量在 50.00%~51.15% 之间, MgO 含量 2.35%~9.80% 呈灰色厚层灰岩出露, 含少量细小燧石结核。

(3) 早二叠世栖霞灰岩 (P_{1q}) 深灰色巨厚层含燧石微晶生物碎屑灰岩, 具硅质岩与灰岩互层, 夹薄层粉砂岩, 其下部与船山组灰岩较难划分。

2 钙质土分类理论

土壤发育的本质, 是岩石中各类矿物的分解合成和不断有各种矿质元素随水流失而进入海洋再沉积的过程。石灰岩的风化也不例外, 它和其他岩石的差异在于含有较高的钙质, 如福建的三类纯灰岩中 CaO 含量均可超过 50% 以上, 因此, 衡量这类土壤的发育强度和时间的估测, 可以如表 1 的资料说明: 由石灰岩风化发育的土壤是一种典型的单源型土, 它的发育强度和成土年龄的判断, 一般可由 CaO 的淋溶速率得到说明, 这与干旱地带广泛发育的钙层土有明显的区别。

表 1 钙质土发育强度与时间因素的特征性指标

属 名	坎市属 乌钙土 (原称黑色石灰土或石灰性土)	凉坑属 红钙土 (原称红色石灰土、石灰岩红壤、石灰岩黄红壤或黄壤、变性红色石灰土)
土层颜色	暗灰—黑色	红色 (2.5~10YR)
土层 pH	≥7.5	≤6.0
石灰反应	强, 随土层深度而加强反应	弱至无, 上层无反应, 下层弱
母质 CaCO ₃ 风化 B 层	4~5g/kg	1~2g/kg
粘土矿物	蒙脱石-高岭石, 伴少量原生镁系矿物	以高岭石-蒙脱石为主

在湿热的华南地区, 生物气候盛行酸性淋溶过程, 土壤中的钙质多以 Ca²⁺ 离子或易溶于水中的 CaHCO₃ 形式随下渗水洗出为主; 而干旱地带, 由于土壤水分的强烈蒸散, 由地下水带入的外源钙质多以 CaCO₃ 形式沉积而形成钙积层。故虽同为含钙质的土壤, 但钙素质物来源和成土作用方向截然不同, 前者主要来自母岩中的碳酸盐矿物, 并以淋溶洗出为主; 而后者, 除石灰岩区外, 钙质的来源以外源型为主, 并多由于地下水的蒸散作用带入上部土层沉淀形成 CaCO₃ 淀积层。

根据成土作用的特点和特征指标的差异, 可将钙质土类续分为两个亚类型: 钙质土和钙层土亚类。

2.1 共性特征

1~2 m 深土层中有石灰反应层存在; 土层中明显的标志矿物为 CaCO₃。

2.2 个性特征

	钙 质 土	钙 层 土
母质来源	石灰岩单元型风化壳	多元型母质发育
成土作用	下渗水淋溶作用为主, 土壤盛行 Ca ²⁺ 和 CaHCO ₃ 淋失过程	以上升水蒸散作用为主, 土壤盛行 CaCO ₃ 沉积过程

续表

	钙质土	钙层土
pH 值垂直变化	由上部土层向下位层次呈递增趋势,即以上酸下碱为特征	全土层呈中—碱性反应
分布地带	隐域土, 局限于石灰岩分布区	干旱地带显域土
CaCO ₃ 淀积层	无, 或接近石灰岩层表面有CaCO ₃ 结壳存在	有, 并出现在地下水活动范围内

3 福建钙质土亚类型的续分

福建的钙质土亚类型仅局限分布在闽西南一带古海侵区。范围由石炭系到早二叠世的三明—上杭古海湾地带, 即富屯溪—闽江以南, 崇安—石城深断裂带以东和福安—南靖深断裂带以西部分, 仅小面积出露在福鼎南溪。据此, 可将本省的钙质土亚类续分为两个土属: (永安)凉坑红钙土和(永定)坎市乌钙土。

3.1 钙质土属划分的年龄要素讨论

本省以石炭纪广泛发育大面积石炭岩以后, 到早二叠世末期, 全境陆地缓慢抬升, 三明—上杭古海湾海水变浅, 形成了以硅质岩为主的灰岩、粉砂岩交互层, 此后, 由于地壳频繁振荡, 海水进退不定, 海陆界线时有变迁, 沉积物多以陆相为主的海陆交互相粗碎屑岩为主, 而少见有纯碳酸盐岩的沉积出露, 到下三叠统溪口组 (T_{1x})、溪尾组 (T_{1xw}) 主要发育为含钙质的粉砂岩、砂岩, 局部还夹有薄层的钙质, 其化学成分为低硅 ($SiO_2 \approx 60\%$)、高铝 ($Al_2O_3 \approx 12\%$) 富含钙镁 ($CaO \approx 12\%$, $MgO \approx 30\%$) 为特征, 但已无碳酸盐岩的发育。早期的石灰岩抬升成陆后, 已从碳酸盐沉积阶段转为陆上风化释出阶段, 也是本省石灰岩风化壳和钙质土大面积发育的起始年代。在近代地理中的分布特点是石灰岩层在漫长的地质年代风化过程中, 已成为山间河谷盆地中的蚀遗低丘地形, 钙质土的分布也仅局限于以残丘为中心的坡麓 10~12 m 的周围, 而面积广阔的连片石灰岩山地在本省并不多见。

3.2 钙质土土属及其分类依据

土属特征的选择, 侧重于母质层, 并参照上部土层与淋溶作用发育强度有关的性状。

(1) 石灰反应 与石灰接触带的母质层 (C) 必须有石灰反应, 以鉴别是否属石灰岩风化壳; 母质层上部土层石灰反应的有无或强弱则作为诊断淋溶作用强度的特征依据, 但必须特别注意石灰溶洞的淀积物和地层接触带其他外源风化物的掺入或形成覆盖层。

(2) 颜色与 pH 值的变化 这两项特性主要反映土属淋溶作用的强度, 特别是淋溶层 (A) 和风化 B 层, 一般规律是: 红—棕红色是与低 pH 值相联系, 表明整个土体的淋溶作用强, 整个土体已向地带性的红化作用发展, 相当“红色石灰土”的发育; 黑色—灰—暗灰色多与 pH 值中—偏微碱性反应值联系, 反映整个土体的淋溶作用相对较弱, 相当“黑色石灰土”的发育阶段。

(3) 土属划分 根据上述原则, 可将本省石炭纪至早二叠世海侵期以碳酸盐为主的母岩划分为 2 个土属:

1Ca_{1k} (永安)凉坑属红钙土: 以石灰岩坡积物或坡积/残积物发育为主;

1Ca_{ks} (永定)坎市属乌钙土：以石灰岩风化壳残积物发育为主。

1Ca_{lk} (永安)凉坑属红钙土相当本省 40 年代调查分类制中的“变质黑色石灰土类”和全国第二次“土普”分类制“红色石灰土”亚类型。基本特性：①上部淋溶土层无石灰反应；②pH 值呈微酸至酸性反应，并由上而下增高；③整个土层呈红—棕红色调 2.5~10YR；④风化 B 层粘粒矿物组合以高岭石为主，相对含量 40%~50%，伴有伊利石、蒙脱石，典型剖面属性如下：

发育于下二叠统栖霞灰岩 (P_{1q}) 和船山灰岩 (C_{3c}) 坡积物，土体深厚，地面植被以疏林草地为主，优势种马尾松—五节芒，无枯枝落叶层，呈酸性淋溶，分布地形以丘陵低山为主。剖面性态如下：

0~20cm A 层 暗棕色，7.5YR，4/2~4，无石灰反应，pH6.0，层理呈舌状向下伸入 B 层
20~120cm B 层 淡棕色，7.5YR，6/4，无石灰反应，pH6.5，与母岩接触带有 CaCO₃ 淀积
>120cm 下伏栖霞灰岩层 未见岩层裸露 与土层接触带多石灰岩碎屑体 强石灰反应

1Ca_{ks} (永定)坎市乌钙土：相当全国第二次“土普”分类制黑色灰土亚类型，基本特性是：石灰岩发育的残积风化壳，全剖面均有石灰反应；pH 值 ≥7.0，呈中性—弱碱性淋溶；土层中粘粒矿物组合为蒙脱石—高岭石，伴少量原生矿物滑石，典型剖面属性如下：

以发育在低丘陵区 (<300 m) 中的石灰岩低地上的残积层或洞穴堆积物 (20) 为主，全剖面均呈中—强石灰反应。在水原充足的地方多垦殖利用为水田，典型剖面如下：

0~10cm A 层：暗灰色，N4/，粉壤土，弱石灰反应，pH8.0，无明显的层理特征
10~40cm B 层：淡黄棕色，10TR，5/4 粉壤土 强石灰反应，pH8.0~8.5，与 C 层接触层理不清楚
40~100cm C 层：黄棕色，10YR，5/8，粘壤土，强石灰反应 pH8.5
>100cm 下伏栖霞灰岩，未见底岩

3.3 土系与土种

根据风化 B 层的质地特征续分为：

(1) 1Ca_{lk}凉坑属红钙土，共有三个土系。

① 1Ca⁴_{lk}凉坑粉壤土系：其下续分 (永安)凉坑，溪南，大湖，(顺昌)大坪，(大田)元山等 5 种土种；

1Ca⁵_{lk}下村粘壤土系：其下续分 (连城)下村，(漳平)岭兜，赤水，(龙岩)好坑，适中，(武平)南湖，(上杭)白沙，(大田)铭溪，万宅等 9 个土种；

③ 1Ca⁶_{lk}大池粘土系：其下续分 (龙岩)大池，小池，雁石，城头坪，(明溪)龙湖，(漳平)石寮，(永定)虎西，(武平)岩前等 8 个土种。

(2) 1Ca_{ks}坎市属乌钙土，共三个土系。

① 1Ca³_{ks}元坑壤土系：包括 (顺昌)元坑，(沙县)富口等 2 个土种；

② 1Ca⁵_{ks}坎市粘壤土系：包括 (永定)坎市，(将乐)金华洞，(大田)梅林，(连城)赖源，(漳平)大深等 5 个土种；

③ 1Ca⁶_{ks}林畚粘土系：包括 (清流)林畚，(宁化)湖村等 2 个土种。

武夷山区新构造运动与 九曲溪河谷古地理环境变迁

庄卫民¹ 李晓兵²

(¹ 福建农业大学 福州 350002; ² 惠安县旅游局)

武夷山红岩地貌, 为白垩系陆相红色火山喷发沉积和红色复陆屑建造, 发育于上白垩统赤石群^[1], 在本省多呈盆地形式零星分布于政和一大埔深断裂带以西部分, 以武夷山赤石、星村为标准, 地层系统: 下白垩统一石帽山群 (K_1sh), 禾口组 (K_1h), 上白垩统一沙县组 (K_2sh), 赤石群 (K_2ch)。赤石群岩性为紫红色厚—巨厚层砾岩、砂砾岩, 偶夹紫红、灰绿色砂页岩, 砾石成分复杂, 磨圆度不高, 以钙泥质胶结为特征, 砾石层沿走向逐渐相变为砂岩、粉砂岩, 属干燥炎热的陆相盆地堆积物, 较易在长年流水作用下剥落, 实测剖面分层如下^[1]:

赤石群 (K_2ch): 厚 > 1107 m

4. 红色厚—巨厚层复成分砾岩、砂砾岩 (未见底), 厚 > 402 m
3. 紫红色厚层复成分砂砾岩 厚 242 m
2. 紫红色中厚层含细砾粗砂岩 厚 62 m
1. 紫红色厚层复成分砾岩, 下部夹少量薄层钙泥质粉砂岩 厚 401 m

.....假整合.....

下伏地层: 沙县组 (K_2sh) 紫红色中厚层钙质粉砂岩

由于砂砾石在钙泥质胶结下形成较不稳定的砾石层, 在新构造运动的断层和长期流水作用下, 砾石剥落, 流水沿松软处逐渐刻蚀形成各种大小不一的水蚀洞穴, 残留许多“虎溪灵洞”和洪水为患的漂船, 漂木残存在这些人类极难攀登的水蚀洞中, 加以民间各种神话般的传说, 使一些新构造运动的特征和第四纪以来的河南波动所形成的水蚀地貌未能获得深入的科学探索。本文重点拟从九曲溪河谷的古地理环境变迁阐明武夷山区新构造运动的特点, 以为这“世界自然与文化遗产”区内各种神话般的传说提供科学的解释。

1 武夷山区新构造运动的特征

构造运动从时间的概念看, 一般把第三纪末期到现代所产生的构造作用, 称为“新构造运动”。但由于它经历的时间短, 给人类留存的表现形迹仍历历在目, 因而, 其活动特征也较易从地貌上显示出来, 武夷山区的九曲溪河谷, 可看作是集新构造运动特征的典型样地。

1.1 在崇安—石城深断裂带控制下的走向断裂谷特征

自新元古代以来,福建曾经受多次剧烈的地壳运动,并相应形成一系列规模不等、性质不同的深大断裂带。位于闽西北武夷山东侧的崇安—石城深断裂带即是其中较明显的一条。反映在 MSS 卫片上为清晰的线性构造特征^[3]呈北东向延伸,宽 10~30km,长在 220km 以上,上白垩统赤石群红岩盆地沉积的发育主要受此断裂带控制,至喜马拉雅运动时期,沿断裂带有新的挤压活动产生,如宁化禾口盆地,震旦系逆冲在禾口组之上,推测九曲溪的发育,应是在此一压应力作用下,相应产生二组共轭性的剪切节理或断层,使回返上升的岩块,在应力释放的状况下,分割成相互对错的 NW—SE 向和 NE—SW 向的二组断裂,并在其后的流水作用下,不断冲蚀拓宽成现代这种具直角形交错的河曲,如 7~6, 5~4, 3~2 和 1 曲反映为北西向断裂,而 2~1, 3~4, 5~6, 7~8 曲则反映出北东向断裂,从七曲到六曲,五曲到四曲,二曲到一曲,都显示出呈直角拐弯的异常现象,使整条九曲溪的形状,反映为新构造运动形成的走向断裂谷特征。

1.2 继承性断层活动的特点

九曲溪的 4 曲,是以一东一西隔河相峙的两大巨岩为特色,东侧是大藏峰危立水际,西侧为仙钓台,而九曲溪著名深邃的卧龙潭则夹在二巨岩之间^[4],显示出一种典型的地堑式断层特征。

早期的断层线下盘为大藏峰,上盘为鹤鸣峰,由于经历过一段流水作用的塑造,在上盘半壁的两个流水侵蚀洞穴中,还残留有早期人类活动的遗迹:峰上两个洞穴,一称凝真,深广达 10 几米,有刻字“清溪凝真洞”;另一洞称仙机,现存一横一竖的木条,古人称为“仙机”而得洞名。推测为闽越族先祖穴居时代的残遗物,此后,在新构造运动作用下,仙钓台与大藏峰再次移动,并形成相对称的断层面,仙钓台相对上升,而下盘卧龙潭深埋水底。

近期新构造运动形成的断层镜面在大藏峰临水面处也显得十分清晰,大藏峰相对上升,下盘沉入水底,断层面的倾角近于垂直,故可判断为一种逆断层,下盘上部虽未露出水面,但已形成四曲中的浅滩,并拦阻许多卵石堆积,从断层镜面的新鲜程度看,应是近期形成的断层及侵蚀痕迹。反映武夷山区新构造运动的活跃特点。

1.3 六曲仙掌峰的断层擦痕与阶步特征

九曲溪断层的发生,大多由于新构造运动的作用,使岩层沿断裂线作相对移动,两个岩盘在巨大的地质作用力推动下,断层面由于强烈的摩擦和砾石层的刻蚀作用,往往有伴生构造发生,有时还可见伴有纤维状矿物,晶体生长多与擦痕的方向平行。擦痕的特征,即是两盘岩层相对错动摩擦残留在断面上的条痕,如六曲仙掌峰的断层擦痕显得特别清晰可见,并与擦痕相垂直的方向,还伴生有不连续的微小横阶,称为“阶步”的痕迹,表明这里的断层,下盘移动方向是呈不连续的垂直位移。

2 九曲溪三期河水面波动的考证

第四纪时期,武夷山区在新构造运动的控制下,继承性断裂所构成的地貌反差,在九曲溪河谷和北山一带都十分明显,陡直的断崖,断崖处有明显的三角面和瀑布,如水帘洞,特别表现河谷水平面波动所残留的流水侵蚀特征,在沿河的断崖壁上,随处可见。如在近

期不同水位的流水作用下,高水位(夏季)与枯水位(冬季)之间都残留有较明显的侵蚀条纹和洞穴,在流水作用带中少见有泥沙填积和植物生长;而在高水位与洪水位之间,由于间隔时间较长(1年以上),在有泥土填积的洞穴中已可见有多年生的草本植物生长,这个特点用于判别九曲溪在不同时期河谷水平面的波动是一种较明显的依据。据此,可将九曲溪的河面变化,有特征依据地判别为三次波动,并形成明显的三条流水作用带。与其对比于福建沿海岸带的海侵特点和从孢粉分析中所反映的古气候变化,有可能为华南低纬度地区冰后期的气候轮回提供依据。

2.1 闽江口海岸带的三期海侵特点

根据本省第四纪地质研究^[5],业已证实沿海岸带自上更新世以来出现过三次海侵过程和闽江口水位的三次波动。而作为闽江上游的九曲溪支流,由于河口总水位的抬升,支流的侵蚀基准也随之抬高,下切作用停滞,故三次海进海退的过程,也必然影响到九曲溪河面的变动,这三次海侵的特点说明如下:

(1) 福州海侵期 根据闽江口区福州上洋村钻孔资料证实,在上更新统中部含海相层的埋深在 51.11~59.87 m 段,发生时间大约为 3.5~4.0 万年(晚更新世中期)。

晚更新世中期,古气候转入庐山一大理间冰期,气温升高,冰川退缩,海面上升,河流下切作用变缓,堆积作用盛行,崇阳溪沿岸冲洪积层发育,如以建阳城关二级阶地剖面为例说明:剖面呈二元结构,黄褐色,下部砾石磨圆度较好,粒径 5 cm 左右,有少量扁平状砾石,厚约 3 m;上部为黄褐色粉砂、细砂、粘土互层,其间夹有次棱角状石英砾石和砂砾卵石,厚 1.82 m 说明后期曾有频繁的洪水发生。

(2) 上洋海侵期 晚更新世晚期,世界气候仍受寒冷的大理冰期(玉木冰期)控制,冰川增长,海面下降,据研究^[12],在距今约 1.5 万年前,福建沿海海面下降到比现在低约 130 m 处,台湾海峡出露水面,并与福建连成一片。

但据福建第四纪地质的最新钻孔资料认为:在晚更新世的玉木冰期期间,曾出现过多次间冰阶,在福建沿海也以温暖湿润的古气候为突出,两次比较明显的海退过程,约发生在 3.5 万~3.0 万年和 2 万~1.0 万年之间;而从 3 万~2 万年期间,为上洋海侵发生时间。据从福鼎到厦门西港,龙海沿线钻孔资料的时间分析,海相淤泥的¹⁴C 的测年值都比较集中地反映为距今 2 万~3 万年,故可认为,晚更新世后期的福建沿海,可能是第四纪以来海面变动较大的一个时期。

(3) 长乐海侵期 是福建全新世海侵全盛时期,大约距今 1 万~0.3 万年,高海面停滞期的最大海侵界线,在闽江口可上溯到闽侯的白沙、甘蔗一带。这一时期的海相层较普遍的特征是含有细砂夹层甚至粘土夹层,为海面向下波动的反映。全新世晚期至现代,福建沿海岸带基本上上升为主。

2.2 福建古气候轮回的特点

福建第四纪的古气候特点,大致从上更新世开始到近代,经历了三次温暖湿润气候轮回的变化,而这三个轮回基本与三次海侵过程的发生是一致的。

(1) 福州海侵期的古气候特点 根据上更新统中部福州组孢粉分析结果,组合特征为:青岗栎+山毛榉-杉-禾本科组合,其中阔叶木本植物花粉占 54.0%~65.0%,以青岗栎、山毛榉和栎属为主;裸子和草本花粉占 25.8%~38.0%,以杉、松、禾本科为主,蕨类孢子仅占 5.0%~16.0%,反映这一时期的古气候特点为温暖湿润,约相当于玉木下间冰

阶,¹⁴C测年在3.5万年以前^[5]。根据大森等人广泛收集的有关3万年海侵的资料认为^[8]:在3万年前的时代,有世界性的古气温、古水温的上升,同时出现冰川后退。大概相当于欧洲的帕道夫(Paudorf)亚间冰期。这同时说明福州海侵期是同全球的冰川性海面变动密切联系在一起的,也是形成武夷山区九曲溪早期高河水面的时期。

(2) 上洋海侵期的古气候特点 上洋海侵期的孢粉组合,可分为四组:

水龙骨科-海金沙组合:以蕨类孢子占绝对优势(91.3%)其中有水龙骨科占81.1%)和含有一定量的海金沙、木沙椶、卷柏等,反映古气候特点为温凉偏干,相当玉木Ⅱ冰阶,是紧接在福州海侵期后的一次海退过程。

禾本科-青岗栎-松属组合:阔叶树植物花粉占44.0%,以青岗栎为主,其次山毛榉属化香树等。裸子植物和草本花粉占44.1%以松属、杉木、禾本科为主,蕨类孢子占12%,以水龙骨科,里白属为主,反映这时期的古气候特点已逐渐由前期的温和略干向温暖湿润转变,阔叶树植物与裸子树植物各占一半,总量达80%以上。

栲+青岗栎-松属-水龙骨科组合:阔叶树花粉占47.6%~67.5%,以栲、青岗栎占优势,裸子植物以松属为主,占9.0%~23.2%,蕨类孢子以水龙骨科为主,占12.8%~29.5%,是反映上洋海侵期的主要孢粉组合类型,说明这时期的古气候特点为温暖湿润。

松属-水龙骨科-青岗栎组合:以栲、青岗栎和山毛榉属为主,占28.0%~57.6%,裸子植物和草本花粉占15.0%~36.5%以松属占绝对优势,草本极少,蕨类孢子占17.5%~35.5%,以水龙骨科、木沙椶、凤尾蕨为主,反应古气候特点为温和略湿,是全球性冰川退缩,并向冰后期转变的孢粉组合型。

(3) 长乐海侵期的古气候特点 为福建冰后期的一次较大海侵过程,古气候分期隶属冰后期的大西洋期气候型,温暖偏湿,孢粉组合以栗为主,还有栎、松、里白、水龙骨科等,其中禾木孢粉成分>30%,蕨类在15%左右,禾本中的栎、栗占优势,松属类一般在10%以下。

3 结 语

如上述,九曲溪沿岸壁两侧的三条流水作用带与晚更新世以来福建沿海岸的海侵和海退过程,以及古气候轮回的变迁是相互联系的,可见这三条流水作用带所残留的侵蚀洞穴必然同当时的河流水位是一致的,推测新石器时代(距今约1万~4000年前^[10],闽越族的先祖,可能利用这些优越的洞穴,傍水而居,以独木舟为交通工具,渔猎为生。直至海退开始(据¹⁴C测年,约发生在19145至9480a. B. P.),河流下切作用加剧,河水位下降,日常出入山洞不便,继后的彭祖年代(据传说为上古颡项玄孙,尧时封为大彭,故称彭祖),方选择沿崇阳溪河谷阶地定居。

彭祖居住在九曲溪的幔亭峰下,有二子,老大名武,老二名夷,相传武夷山即由此而得名。据赵昭炳认为^[9],武夷山九曲溪一带的文物与闽江下游福州的昙石山文化期大致相当。而近年考古学发掘证实,昙石山遗址的中、下层文化属于新石器时代晚期,距今约4000~5500年^[11],而据三曲观音岩取下的“船棺”,¹⁴C测年值为3840年^[4]相当于公元前21~16世纪的夏禹以前尧、舜年代,与传说中的彭祖时代大致相当。而据陈天霖^[4]从考古学的角度分析,“船棺”中的随葬品中有石器时代、铜器时代和铁器时代的遗物,