

# 新西兰北岛土壤及其农业利用<sup>①</sup>

## ——第 19 届国际土壤学大会土壤考察介绍

王德建, 周健民, 杨林章

(中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008)

**摘要:** 文章介绍了新西兰北岛地区火山灰与海相沉积物发育土壤的形成分布与农业利用, 讨论了几种典型土壤的集约化蔬菜、果品、畜牧生产中的高产与环境协调的养分管理, 以及广泛丘陵地区的土壤侵蚀等环境问题。

**关键词:** 新西兰; 北岛土壤; 农业利用

**中图分类号:** S159.1; S159.3

第 19 届国际土壤学大会于 2010 年 8 月 1—6 日在澳大利亚布里斯班举行, 作为会前考察内容之一的“新西兰北岛土壤考察——从火山到海洋”于 7 月 26—30 日进行, 新西兰土壤学会承担了这次考察活动, 新西兰 Waikato 大学地球与海洋科学系 David J. Lowe 教授、Massey 大学土壤与地球科学系的 Vince Nell 教授、Mike Hedley 教授、北 Palmerston 植物与食品研究所的 Brent Clotheir 教授、北 Palmerston 农业研究所的 Alec Mackey 教授等组织了这次活动, 并全程或部分的陪同了考察。参加考察的有新西兰、中国、美国、加拿大、德国、法国、挪威等国的 21 位土壤学者。考察从奥克兰出发沿北岛的西线向南直到北岛南部的北帕默斯顿折回, 沿东线向北返回, 4 天行程 1 600 km, 考察了 15 个点, 观察了 11 个土壤剖面, 通过 4 天的野外考察与交流, 对新西兰北岛的土壤及其农业利用状况有一个初步的了解, 想借此机会作一介绍。

### 1 新西兰北岛土壤形成与分布

新西兰是一个大洋洲岛国, 有北岛、南岛和斯图尔特等一些小岛组成, 陆地面积 27.05 万 km<sup>2</sup>。北岛分布有东北-西南走向的山岭 4 条, 中、西部是大面积的火山高原, 南部是海相沉积经构造抬升形成的山地、丘陵与平原。

#### 1.1 火山与火山灰土壤

##### 1.1.1 火山的分布 新西兰北岛主要有 3 个火山

Zone), 其次是科罗曼德尔火山带 (Coromandel Volcanic Zone), 以及汤加里罗 (Tongariro) 与西北部的玄武岩与安英岩火山。

陶波火山带是新西兰火山活动密集的地区, 这个狭长的火山带从南部的鲁阿佩胡火山 (Ruapehu) 绵延到 240 km 外的北部怀特岛 (White Island)。包括陶波 (Taupo)、奥卡泰纳 (Okataina)、罗托鲁阿 (Rotorua) 和依偎在两者之间的火山。这条火山带发生了地球上最大最猛烈的火山爆发, 以及新西兰最新的火山爆发 (Ruapehu 1995—1996, Whakaari 2000)。发生在陶波火山带与塔拉纳基 (Taranaki) 的火山活动, 是由于太平洋构造板块潜入北岛下部, 下倾摩擦产生的热量煮沸北岛岩石圈下的水与另一些液体, 这些液体发生化学变化, 使得上覆的坚硬岩石熔化, 形成玄武岩浆, 这种高密度的岩浆上升, 受到地壳的限制, 炽热的玄武岩浆像一个巨大的火炬熔化地壳, 从而形成火山爆发。

1.1.2 火山灰发育的土壤 大部分新西兰北岛地形是相对年轻的, 特别是在海湾-陶波-汤加里罗地区, 主要起源于火山灰。因此, 这个地区的土壤特性和分布受火山作用的影响很大。火山灰沉积的年龄、厚度、矿物学组成等, 至今对土壤的形成类型仍有显著影响。史上沉积物的侵蚀与火山灰沉积物的再造形成了今天的景观, 从而塑造了土壤与区域地形的紧密联系。当然, 气候与植物变化也对土壤特性和分布有深刻的影

<sup>①</sup>基金项目: 中国科学院知识创新工程项目 (KZCX2-YW-440) 资助。

作者简介: 王德建 (1957—), 男, 江苏阜宁人, 研究员, 主要从事农田生态系统养分循环及其环境效应方面研究。E-mail: djwang@issas.ac.cn

在世界 12 大土纲中新西兰就拥有 11 个 (表 1), 而在新西兰的 11 个土纲中火山灰土壤就占有 5 个土纲, 火山灰土壤依年龄与发育程度依次分为, 新近火

山灰土壤 (占北岛土壤的 1%)、浮石土壤 (15%)、水铝英石土壤 (12%)、颗粒土壤 (3%)、老成土则很少。

表 1 世界 12 个土纲与新西兰土纲的丰度比较

Table 1 Abundances of 12 soil orders of the world (of Soil Taxonomy) vs abundances in New Zealand

世界			新西兰		
土纲	面积 (%)	排序	土纲	面积 (%)	排序
淋溶土 (Alfisol)	9.7	4	灰化土 (Pallic Soils)	9.9	4
火山灰土 (Andisol)	0.7	12	水铝英石土、浮石土、新成土 (Allophanic, Pumice, Recent Soil)	12.9	3
干旱土 (Aridisol)	12	2	半干旱土 (Semiarid Soils)	0.9	9
新成土 (Entisol)	16.2	1	全新土、潜育土、未发育土、人为土 (Recent, Gley, Raw, Anthropic Soils)	7.4	5
寒冻土 (Gelisol)	8.6	5			
有机土 (Histosol)	1.2	11	有机土 (Organic Soils)	0.9	8
始成土 (Inceptisol)	9.8	3	棕色土、潜育土、灰化土、全新土 (Brown, Gley, Pallic, Recent Soils)	47.4	1
软土 (Mollisol)	6.9	8	黑色土 (Melanic Soils)	1.2	7
氧化土 (Oxisol)	7.5	7	氧化土 (Oxidic Soils)	0.2	10
灰土 (Spodosol)	2.6	9	灰化土 (Podzol Soils)	13.1	2
老成土 (Ultisol)	8.5	6	老成土 (Ultic, Granular Soils)	4.2	6
变性土 (Vertisol)	2.4	10	黑色土 (Melanic Soils)	0.1	11
非土壤 (Non-soils)	13.9	-	未发育土 (Raw Soils)	2	-

火山灰新成土 (Tephric Recent Soils): 这些土壤发育非常年轻, 主要发育于安山岩和玄武岩的喷发物 (100 ~ 600 年), 分布在塔拉纳基、汤加里罗-鲁阿佩胡、兰吉托托岛 (Rangitoto Island) 和塔拉韦拉火山 (Mt. Tarawera) 周围。它们是典型的碎石与砂质的, 由于没有足够的时间风化, 因而缺乏养分, 保水性能差。

火山浮石土 (Pumice Soils): 分布在北岛中部与东部狭长地带, 这些浅层土由粗质的流纹岩浮石沉积物组成。主要来自陶波 (公元 232 年) 和卡罗阿 (Kaharoa) 火山爆发 (公元 1314 年), 发育于这些沉积物上 (700 ~ 1800 年) 的弱发育土壤缺乏许多动物发育的必需微量元素, 如 Co、Cu、Se 等。但加利福尼亚松 (*Pinus radiata*) 在这类土壤上生长很好, 部分原因是其利用下层古土壤中的养分。

水铝英石土 (Allophanic Soils): 这些深厚的、有多种用途的土壤来源于流纹岩与安山岩聚集的一系列薄的、细粒贯穿的火山灰上, 大部分水铝英石土壤形成在 1 ~ 2.5 万年之间, 一些古老的土壤有 6 万年的历史, 但是它的重要性常常被低估了。水铝英石土的名称来源于形成它的纳米晶体黏土矿物水铝英石, 由

于其带正电荷与巨大的表面积, 一汤匙 (约 5 g) 的水铝英石有一个橄榄球场大的表面积 (400 ~ 900 m<sup>2</sup>/g)。

颗粒土 (Granular Soils): 这些黏湿的, 但是结构好的土壤发育于古老的、强风化的、在 10 ~ 35 万年前陶波火山带中心喷发的火山灰层上。主要分布在怀卡托北部和奥克兰南部地区, 例如普基科希-孟买丘陵地区, 年轻的火山灰覆盖层在北岛中心地区是具有主导地位, 已浅薄到让这些古老的沉积物裸露在地表, 在哈密尔顿修路挖开的剖面中将看到这些土壤。

1.1.3 火山灰土壤的利用 虽然许多火山灰土壤是优质的, 但是也存在一些问题。在 20 世纪早期, 当大批土地被计划用于畜牧业时, 发现许多中部高原地区的土壤缺乏动物健康所需要的微量元素 (Co、Cu、Se), 引起牛羊缺 Co 消瘦病的问题。在缺 Co 地区, 典型的是降雨多, 但是生态系统缺乏从淋洗中回收养分的能力。有趣的是, 缺 Co 土壤有利于次生松林的生长, 在北岛中部这些生长茂盛的松林成为新西兰引人注目的木材工业基地。现在关心的土地利用问题已变为大量森林地变为牧场后对土壤与水质的影响。

## 1.2 海相沉积物发育的土壤

1.2.1 北岛南部的地形 怀乌鲁 (Waiouru) 是北岛火山高原的南缘, 向南是海相沉积岩经构造抬升的山地、丘陵与平原。东北-西南向的鲁阿希尼 (Ruahine)-塔拉鲁阿 (Taranaki) 山岭把新西兰北岛南部分成东西两个部分。在鲁阿希尼山岭西部, 构造抬升的山地与毗邻河流下切的陡坡地, 逐渐被河流阶地、阶地残余与冲击平原所代替。近 40 万年来, 由于构造抬升、海岸线变化以及朗吉铁凯河 (Rangitikei) 的侵蚀等作用, 该区已形成世界上最细的河流沉积阶地之一, 看到的丘陵地区是典型的中度到深度蚀刻的土地, 有易产生片蚀与滑坡的陡坡。继续向南, 是发育于更更新世海沙与淤泥上的高度易侵蚀的陡坡地。

从北帕默斯顿折回, 沿马纳瓦图河 (Manawatu) 向东北, 来到了塔拉鲁阿-鲁阿希尼山岭东部的丘陵与平原地区。马纳瓦图河上游流域面积有 1 300 km<sup>2</sup>, 其中平原 370 km<sup>2</sup>, 没有侵蚀风险的丘陵 450 km<sup>2</sup>, 有严重的侵蚀风险丘陵 200 km<sup>2</sup>, 该丘陵地区是近 100 万年来海床逐渐抬升而形成的。从巴罗牧场 (Barrow Farm) 向北, 表层土壤中逐渐增加了火山灰的成分, 在沿 50 号公路到达赫里汤加 (Heretaunga) 平原之前, 沿途地形均是绵延起伏的丘陵与坡地。赫里汤加平原的土壤主要来自于 3 条河流: 北部的 Tutaekuri 河、西部的 Ngaururoro 河和南部的 Tukituki 河的混合沉积物, 晚更新世河流输送的细粒沉积物推进了海岸线, 大多数土壤母质年龄少于 2 000 年。

1.2.2 主要土壤类型 棕壤 (Brown Soils, 美国系统分类为 Dystrudepts, 下同): 这个土纲包含新西兰的主要土壤, 占土壤的 43%。土壤呈棕色或在暗灰棕色表土下的黄棕色, 暗棕色来自母质风化形成的氧化铁薄膜。

棕色水铝英石土 (Brown allophanic, Dystrudepts): 该土类土壤有一层水铝英石特性为主的土层。

灰壤 (Tarawera, Aquepts): 灰壤受渍水影响, 成化学还原状态, 具有浅灰色的亚表层, 通常有红棕色或棕色的斑点。

水铝英石土 (Allophanic, Udands): 这些土壤以水铝英石材料为主, 这些纳米细粒矿物 (具有正负电荷) 包裹在沙粒或粉沙颗粒上, 保持一个多孔、低密度与弱强度的结构。这些土壤分布在北岛多雨环境下的火山灰沉积、黄土沉积、火山灰岩的风化物上。

灰化土 (Pallic, Fragiaquepts and Fragiaqualls): 灰化土由于氧化铁含量低, 表土呈浅色, 亚表层结构弱、密度高, 具有夏季干、冬季湿的特点。

新生土 (Recent, Fluvents and Orthents): 新生土发育弱, 土壤发育过程的迹象少, 有一清晰的表土层, 缺少 B 层或发育弱。这些土壤主要分布在冲击平原的表层, 成土年龄小于 2 000 年。

## 2 主要土壤的农业利用

### 2.1 普基科希丘陵——商品化蔬菜生产区

普基科希丘陵位于奥克兰的南部, 是一个发育于老成土上的重要商品化蔬菜生产地区, 但农业集约化利用也带来了一些土地利用问题。

普基科希丘陵是 (1.6 ~ 0.5) 万年间奥克兰南部玄武岩火山爆发形成的一个高点 (海拔 222 m), 上部覆盖着 0.56 万年前喷发的玄武岩熔岩, 是该区的最新喷出中心。但是由于高度集约化利用, 这个区域棕色、黏重、结构发育好的老成土, 主要发育于高度风化的、来自于远离北岛中部的流纹岩喷发物的末梢火山灰。这个末梢火山灰黏粒含量 60% ~ 90%, 由于火山灰构成复杂, 因而被笼统地称为哈密尔顿火山灰层。

土壤类型主要是帕图马胡依 (Patumahoe) 和普基科希 (Pukekohe) 土壤, 发育于汉密尔顿火山灰母质上, 年龄在 25 万年左右, 但是土壤薄的表层部分年龄在 6 万年左右。土壤的风化程度随着深度而增加, 大概是由于火山灰不断沉积与土壤不断发育的结果。两种土壤均含有中等的水铝英石 (Allophane)、水铝矿 (Gibbsite)、高岭石 (Kaolinite)、较多的铁氧化物结晶, 以及多水高龄石 (Halloysite) 和蛭石 (Vermiculite)。土壤潮湿时很黏, 从而限制表层的可使用性, 土壤渗漏慢, 易滞水, 但自我恢复力强, 耕作后表层土壤能再团聚成很稳定的团粒结构。然而, 尽管土壤具有很强的恢复力, 高度适宜于蔬菜生产, 但是长期频繁的耕作增加了土壤的侵蚀, 降低了土壤的有机质和生物活性, 使得土壤结构退化。

另外一些环境问题包括: N 淋洗造成潜在的地下水污染, 长期种植蔬菜增加了病虫害, 增加了除草剂、杀菌剂、杀虫剂的使用。抵抗真菌的病害广泛分布, 已证实有洋葱白腐病的危害。由于连作的病虫害、坡地侵蚀、N 素淋洗与土壤退化等问题, 认为本区不是一个洋葱能可持续的生产系统。

两种土壤的肥力水平中等到较低, 冬季作物施用的 N 素被大量淋洗。土豆种植是本区单个作物 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 淋洗的最大贡献者, 早冬季栽种土豆的施 N 量为 480 kg/hm<sup>2</sup>, 70% 的 N 被施用在栽种的时候, 但是土豆在栽种后的至少 30 天内不需要吸收 N 素, 大量的肥料 N 被淋洗 (淋洗量 114 kg/hm<sup>2</sup>)。5

月份栽种的冬季包菜的 N 肥用量为  $150 \text{ kg/hm}^2$ ，在包菜能吸收 N 素之前，这些肥料 N 大部分被淋洗掉。8 月份是 N 肥施用的最好时期，其时作物吸 N 能力大。在秋季休闲时种植覆盖作物能增加土壤有机质，也能吸收土壤中潜在淋洗 N。

土壤侵蚀是普基科希丘陵区农业生产上的一个重要问题，由于菜地土壤侵蚀严重，农民不得不定期地用铲土机把坡地下部的土壤运到上部；同时每次大雨后，排水沟与路面土壤的清理也花费了不少人力与物力。特别是 1996 年 5 月和 1999 年 1 月的暴雨导致该区菜地严重侵蚀的事件，引起了当地政府对土壤侵蚀治理的极大关注，设立了该区的富兰克林可持续发展等项目，对侵蚀进行综合防治研究。

## 2.2 斯科特牧场——集约化生产型研究牧场

斯科特牧场 (Scott farm) 是一个高产与环境协调的研究型牧场。牧场面积  $120 \text{ hm}^2$ ，围栏养殖 350 头奶牛。土壤包括在火山灰覆盖表层地形上发育的排水好到差的土壤，以及在冲积的浅层泥炭上发育的土壤，土壤类型属于灰化土 (Spodosols) 或泥炭酸性潜育土。

牧场的两个主要研究项目是：①来自草地自身的超高产牧场生产系统，利用草地生产的饲料，使生产力提高 20%，达到  $1750 \text{ kg/hm}^2$  奶粉的水平，以探索系统转换太阳能的能力；②高产控 N 的牧场系统，目标是草地生产力达到  $1200 \text{ kg/hm}^2$  奶粉的水平， $\text{NO}_3^-$ -N 淋洗量比现行水平减少 50%。

高产控 N 牧场的研究结果是：①与对照牧场相比， $\text{NO}_3^-$ -N 淋洗减少 26% 的奶粉生产指标花费很少，但是每公顷草地的利润明显下降，原因是实行的控 N 生产体系有一个限制有效增产的代价。虽然气候变化对 N 素淋洗有影响，但控 N 生产体系两年中均是有效的。②如果目的是从寻找 N 素淋洗下降中减少经济损失，牧场主需要一个决策支持，以确定适合季节的控 N 措施，现有的试验结果与相关的模型预测非常一致。与商业化生产牧场相比，控 N 生产体系每公顷生产  $1200 \text{ kg}$  奶粉将减少 50% 的 N 素的淋洗。

## 2.3 南部广泛丘陵区——畜牧生产中的环境问题

土壤滑坡与侵蚀问题。位于北岛西南部的 Branch Road 丘陵地区，土壤发育于早更新世海相沉积的砂与淤泥上，坡度太陡，曾经发生过一系列的滑坡事件，2004 年 2 月的强降雨过程中，该区坡地土壤损失了 30%，加上早期发生的事件，大约平均每 10 年就发生一次。新土壤形成的速率小于侵蚀速率，该区坡地被认为是不适宜发展畜牧业，需要进行人工造林与恢复自然植被，但是由于政治与经济问题（丘陵区贫困牧

民的就业）而难以实现。

集约化奶酪业生产的环境问题。在北岛东南部的马纳瓦图河上游流域，随着奶酪业的效益上升，正在经历着一场土地高强度利用的过程。集约化奶酪业生产带来环境养分负荷的增加，如果不加以控制的话，有可能导致河流水质恶化。巴伦特雷农业试验站 (AgResearch Ballantrae Research Station) 和巴罗牧场代表了这个地区的生产类型。

巴伦特雷农业试验站位于一个非常典型的北岛丘陵地区，代表  $350 \text{ 万 hm}^2$  的丘陵牧场（占新西兰农田的 28%），占总羊群数的 35% 和肉牛数的 20%。试验站的土壤主要发育于黄土覆盖的泥质岩与杂砂岩丘陵、河流沉积物与砾石上，有 10 个土壤类型，主要进行载畜量、肥料试验与养分管理方面的研究工作。

巴罗牧场是一个季节性供应鲜奶的牧场，牧场面积  $112 \text{ hm}^2$ ，灌溉面积  $80.5 \text{ hm}^2$ ，草地年生产力  $14750 \text{ kg/hm}^2$  干牧草，奶粉产量  $1050 \text{ kg/hm}^2$ （超过该地区的平均水平）。农场位于该区最低的冰川阶地，地形平坦，土壤发育于黄土与古老河流沉积物上。在马纳瓦图-旺加努伊地区有 11 个小流域有养分排放负荷超标问题，为了解决这个问题，提出了减少集约化农场养分排放的 FARM 管理计划，巴罗牧场是第一个参与这个管理计划的牧场。

## 2.4 赫里汤加平原——新西兰的果盘

霍克湾区的中部地区正在经历着土地利用多样化的过程，葡萄与园艺栽培正在向南发展。目前关注的研究工作是如何有效地发挥土壤与气候的潜力，这些产业如何发展，如何把葡萄生产与畜牧生产结合起来。

霍克湾区的赫里汤加平原，由于降雨减少，光照增加，加之全新世的冲积物发育的肥沃土壤，适宜于水果生产，该区大面积的葡萄与苹果种植，被称为是“新西兰的果盘”。绝大部分平原土壤发育于 3 条河流的混合沉积物上，晚更新世河流输送的细粒沉积推进了海岸线，大范围的冲积浮石被输送到 Ngaururoro 河下游，沉积在河口地区。当 Ngaururoro 河水流经赫里汤加平原西部边缘时，有一半的水流通过砾石层下渗到平原的下部，使该平原区具有新西兰最好的承压水源地。温和的气候、肥沃的土壤、优良的地下水资源造就了该区成为新西兰罐头食品工业的中心。

## 3 结语

通过这次考察有两点感触颇深：

(1) 新西兰土壤学工作者做事认真的精神。他们为了这次考察活动做了充分的准备工作，编写了 240

图文并茂的考察手册，详细介绍了北岛土壤形成的地质背景、土壤属性、土地利用中存在的问题；David J. Lowe、Vince Nell、Mike Hedley 3位教授全程或部分陪同了考察，考察中他们亲自修理土壤剖面，讨论土地利用中存在的问题。

(2) 研究工作的针对性强、系统深入。主要考察点都有深入的研究工作、系统的资料积累，如 Branch

Road 丘陵陡坡地区的土壤侵蚀问题，展示了20世纪40年代的研究文献；普基科希商品化蔬菜生产区的土壤侵蚀、N素淋洗与病虫害问题，斯科特、巴罗等牧场的集约化经营管理问题，以及巴伦特雷农业试验站所代表的生产性牧场养分管理问题，都是该国种植业与畜牧业发展所面临的重要高产与环境协调的问题。

## Soils and Agricultural Use of North Island, New Zealand

——Introduction to the Field Trip of 19<sup>th</sup> World Congress of Soil Science

WANG De-jian, ZHOU Jian-min, YANG Lin-zhang

(*Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China*)

**Abstract:** This paper introduced the form, distribution and agricultural use of soils derived from volcanoes and the ocean deposits in North Island, New Zealand, and discussed the nutrient management for the harmonization between the high production and environment for market gardening, intensive dairy- and orchard farming as well as soil erosion in the hill country.

**Key words:** New Zealand, North Island soils, Agricultural use