

某些农业措施对土壤酸化的影响

徐仁扣¹, D. R. Coventry²

(1. 中国科学院南京土壤研究所, 江苏 南京 210008; 2. 澳大利亚阿德来德大学农学系)

摘要: 用南澳大利亚 Tarlee 地区一个长期田间试验的土壤样品研究了轮作措施、氮肥施用和残茬管理对土壤酸化的影响。结果表明, 所有处理均导致土壤 pH 下降, 几种轮作方式加速土壤酸化的快慢顺序是: 小麦 – 羽扇豆 $\equiv$ 小麦 – 蚕豆 > 小麦 – 小麦 > 小麦 – 休闲。每公顷施用 80 kg 铵态氮肥及残茬留田均加速了土壤酸化进程。试验期间, 不同的田间处理下土壤的平均酸化速度在 $0.50\text{--}2.22\text{ kmol H}^+ \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 范围内。与碳、氮循环有关的土壤和植物过程是加速该地区土壤酸化的主要原因。土壤酸化导致土壤交换性铝和 CaCl_2 提取铝的量显著增加, 并有可能对敏感植物产生毒害作用。

关键词: 农业措施; 土壤酸化; 南澳大利亚

中图分类号: S153 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 – 0267(2002)05 – 0385 – 04

Soil Acidification as Influenced by some Agricultural Practices

XU Ren-kou¹, D. R. Coventry²

(1. Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2. Department of Agronomy and Farming Systems, Adelaide University, Australia)

Abstract: Soil acidification, as influenced by N – fertilizer, stubble management and crop rotations, was investigated using soil samples from a long – term rotation trial at Tarlee, South Australia. There was a decrease in soil pH with time with all rotation, stubble management and N – fertilizer treatments. The order of the effects of different rotations on soil pH was: wheat – lupins $\equiv$ wheat – bean > wheat – wheat > wheat – fallow. Both the application of N – fertilizer at the rate of $80\text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and the retention of stubble accelerated the soil acidification. The mean acidification rates for the period from 1978 to 1992 varied from 0.5 to 2.22 $\text{kmol H}^+ \cdot \text{hm}^{-2}(\text{year})$ for different treatments. Soil and plant processes associated with the carbon and nitrogen cycles are main causes of soil acidification at this area. Soil Acidification resulted in the increase in soil exchangeable Al and CaCl_2 extractable Al. It is possible that Al toxicity may occur in some treatments for sensitive plants.

Keywords: agricultural practices; soil acidification; South Australia

土壤酸化是土壤退化的一个重要方面, 土壤酸化导致铝、锰和氢对植物的毒害及土壤中营养元素 P、Mo、Ca、Mg 的缺乏, 从而使作物减产^[1, 4]。土壤酸化的重要性不仅在于它对农业和生态环境的当前影响, 更重要的是受它影响的土地面积及它对农业和环境的影响程度都将随时间的增加而迅速增加。

土壤酸化本是一个自然过程, 这一过程的速度通常是非常缓慢的。最近几十年来, 由于人为活动的影响, 土壤的酸化进程大大加速。影响土壤酸化的人为因素主要有两个方面, 一是由于大气环境污染导致酸沉降的增加, 使受酸沉降影响地区的土壤酸化速度加

快^[2, 10]。目前世界上许多国家和地区都不同程度地受到酸沉降的影响, 我国也是其中之一。影响土壤酸化的另一个重要的人为因素是不当的农业措施。在澳大利亚, 土壤酸化问题也是一个重要的农业问题 and 环境问题。但澳大利亚影响土壤酸化的人为因素与世界上其他许多国家有不同特点, 因为澳大利亚几乎不存在酸沉降的影响, 所以加速土壤酸化的原因主要是不当的农业措施。这些农业措施主要有^[4]: ①豆科作物和牧草的种植, 这些豆科植物通过生物固氮增加了土壤的有机氮水平, 有机氮的矿化、硝化及随后的 NO_3^- 淋溶导致土壤酸化; ②通过动植物产品的收获从土壤中移走碱性物质; ③化学肥料的施用, 特别是铵态氮肥的施用, 也是加速土壤酸化的一个重要原因。

在澳大利亚, 人们已经对土壤酸化问题进行了比

收稿日期: 2001 – 12 – 02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49831005)

作者简介: 徐仁扣(1965–), 男, 博士, 副研究员, 主要从事土壤酸化与土壤铝化学的研究工作。

较广泛的研究,但这些研究多集中在年平均降雨量高于 500 mm 的地区,而对于年平均降雨量低于 500mm 地区的土壤酸化问题则很少有人涉及^[3]。但已有的证据表明,在澳大利亚,土壤酸化可以发生在某些中等降雨量地区的土壤上^[15、8]。我们利用南澳大利亚州 Tarlee 地区的一个长期田间试验的土壤样品研究了轮作措施、残茬管理和氮肥施用对土壤酸化的影响。该地区的年平均降雨量为 483mm。

本文是第一作者在澳大利亚访问期间与澳方科学家合作完成的。介绍这部分工作的目的是希望本文能对我国国内这方面的研究工作起到抛砖引玉的作用,因为国内这些年在土壤酸化研究方面,对酸沉降的影响注意得比较多,而忽略了农业措施在土壤酸化中的作用。

1 材料与方法

1.1 试验处理

田间试验建立于 1977 年并持续到 1993 年。本工作共选择 4 种轮作处理(小麦—小麦,小麦—蚕豆,小麦—羽扇豆和小麦—休闲),2 种残茬处理方式(残茬留田和残茬移走)和 2 个施肥处理(不施氮肥和每公顷 80 kg 氮肥)。所施氮肥是以硝酸铵施于小麦生长季节。分别采集于 1978、1984、1986 和 1992 年的土壤样品用于本研究中,实验所用土壤为红棕壤,质地为砂壤质。试验开始前土壤的一些基本性质见表 1。

表 1 试验开始前土壤的某些基本性质(1977)

Table 1 Soil properties at the start of the experiment in 1977

采样深度/cm	0—10	10—30	30—60
有机碳/%	1.0	0.75	0.39
总氮/%	0.10	0.09	0.05
pH(1:5 土:水)	6.8	8.5	9.2
粘粒含量/%	14	41	37
粉砂粒含量/%	8	9	16
砂粒含量/%	78	50	47

* 表中数据引自参考文献[12]。

1.2 土壤分析

采集于 1978 年、1984 年、1986 年和 1992 年的表层(0—10 cm)土壤样品用于本研究中。1978 年的土壤样品每一处理有 4 个重复,1984 年和 1986 年的土壤样品每一处理有 2 个重复。取等量的同一处理的每一重复样品并将其混合制成复合样品。混合前所有土壤样品均风干磨细后过 2 mm 筛。

土壤 pH 按 1:5 的土液比在 0.01 mol · L⁻¹ CaCl₂ 中测定。土壤悬液在振荡机上振荡 1 h 后,离心 10 min (转速为 2 000 r · min⁻¹),用复合电极测定上层清液的 pH。1978 年土壤样品的 pH 缓冲容量用 Aitken 和 Moody(1994)的方法测定和计算^[1],结果用于计算土壤的酸化速度。

交换性铝用 1 mol · L⁻¹ KCl 提取,提取时的土液比为 1:10;CaCl₂ 提取铝用 0.01 mol · L⁻¹ CaCl₂ 提取,提取时的土液比为 1:5。这两种形态铝均采用邻苯二酚紫比色法测定^[13],用 20% 的六次甲基四铵做缓冲溶液将显色时的 pH 控制在 6.1—6.2 范围内。

1.3 土壤酸化速度的计算

土壤酸化速度用下述公式计算^[7]:
酸化速度 = (pH₁₉₇₈ - pH₁₉₉₂) (pHBC × BD × V) / T
pHBC 是土壤 pH 缓冲容量 mmol(H⁺) · kg⁻¹ · pH⁻¹; BD 是土壤的容重 (kg · m⁻³),本文所用容重数值为 1978 年土壤的容重,为 1.4 kg · m⁻³;V 是土壤的体积 (m³ · hm⁻²);T 是时间(年)。

2 结果和讨论

2.1 土壤 pH

如图 1 所示,所有处理均导致土壤 pH 随时间增加而降低。不同的轮作措施对土壤 pH 影响的大小顺序是:小麦—羽扇豆≡小麦—蚕豆> 小麦—小麦> 小麦—休闲(图 1A)。与不施氮肥的处理相比,氮肥的施用导致土壤 pH 的降低(图 1B)。图 1C 结果表明,残茬留田也加速了土壤 pH 的下降。将三方面的影响因

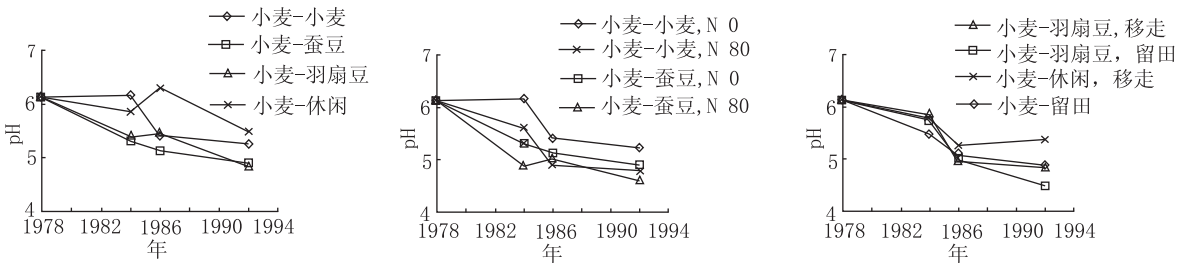


图 1 轮作措施 (A)、氮肥施用 (B) 和残茬管理 (C) 对土壤 pH 的影响

Figure 1 Soil pH as influenced by (A) crop rotations, (B) application of N - fertiliser and (C) stubble management

素综合起来,小麦—羽扇豆处理在施用氮肥和残茬留田的情况下,其土壤 pH 下降最大。从 1978 年的 6.12 下降到 1992 年的 4.5。

2.2 土壤酸化速度

计算土壤酸化速度有两个目的,一是考察土壤酸化的快慢,另一个目的是估计改良酸性土壤所需的石灰量。从 1978 年至 1992 年间,土壤的平均酸化速度列于表 2。对于各种试验处理,土壤的酸化速度的变化范围在 0.5 至 2.22 kmolH⁺ · hm⁻² · a⁻¹。与土壤 pH 下降的趋势相一致,小麦—羽扇豆处理导致最大的土壤酸化速度,而在小麦—休闲的轮作处理下,土壤的酸化速度最低。在相同的轮作处理下,施氮肥和残茬留田使土壤酸化速度增加。

表 2 土壤酸化速度

Table 2 Soil acidification rate (1978—1992)

轮作措施	残茬处理	氮肥用量	ΔpH	pHBC	酸化速度
小麦—小麦	移走	0	0.32	15.6	0.50
		80	1.32	15.6	2.06
	留田	0	0.87	15.4	1.34
小麦—蚕豆	移走	80	1.32	15.4	2.03
		0	0.88	14.3	1.26
	留田	80	0.51	14.3	0.73
小麦—羽扇豆	移走	0	1.23	14.3	1.76
		80	1.51	14.3	2.16
	留田	0	0.94	14.5	1.36
小麦—休闲	移走	80	1.28	14.5	1.85
		0	1.30	13.7	1.78
	留田	80	1.62	13.7	2.22
小麦—蚕豆	移走	0	0.61	15.0	0.92
		80	0.72	15.0	1.08
	留田	0	0.65	14.5	0.94
小麦—羽扇豆	移走	80	1.23	14.5	1.78
		0	0.94	14.5	1.85
	留田	80	1.28	14.5	1.85

注:氮肥用量单位:kg · hm⁻²; pHBC 单位:mmol · kg⁻¹ · pH⁻¹;
酸化速度单位:kmol H⁺ · hm⁻² · a⁻¹。

2.3 土壤酸化机理

与碳、氮循环有关的土壤和植物过程是导致澳大利亚农业土壤酸化的主要原因^[7]。作为碳循环的一部分,农产品的收获并从土地上移走(包括籽粒和秸秆)是碳循环导致土壤酸化的主要方面。因为植物在生长过程中,其体内会积累有机阴离子(碱)^[7]。因此,当植物产品从土壤上移走时,这些碱性物质也随之移走。对小麦—小麦和小麦—休闲两种轮作方式,在不施氮肥的情况下,产品收获并移走是引起土壤酸化的主要原因。当施用氮肥后,小麦的产量和地上部分的生物量均增加,这将导致更多的碱随作物的收获从土壤上移走,这进一步加速土壤的酸化进程。施用氮肥

加速土壤酸化的另一个重要原因是土壤中铵态氮的硝化及随后 NO₃⁻ 的淋溶。虽然该地区的降雨量(平均为 483 mm)不足以引起有规律的排水,但仍可发生土壤水分由表层向下的移动。南澳大利亚的气候特点是夏季干旱少雨,每年的降雨主要集中在冬季,此时气温低,蒸发量小。随着水分的下移,NO₃⁻ 也向下移动并有可能淋溶出根区,而硝化过程中产生的 H⁺ 则在表层土壤中。Ladd 和 Amato 在南澳大利亚相似的土壤和降雨环境下的研究结果表明,NO₃⁻ 可以淋溶至表层以下 70 cm^[9]。因此,铵态氮肥的施用是加速土壤酸化的一个重要原因。

农田系统中的豆科作物也通过 N 和 C 循环来影响土壤酸度。豆科植物通过生物固氮增加土壤有机氮的水平。土壤中有有机氮的矿化和硝化及 NO₃⁻ 的淋溶将导致土壤酸化。因此,在小麦—羽扇豆和小麦—蚕豆两种轮作措施下,土壤的酸化速度高于小麦—小麦轮作下的。

与残茬移走相比,残茬留田加速了土壤的酸化。残茬留田一方面将部分有机阴离子归还土壤,这将增加土壤的 pH,另一方面这一过程也将植物所含的有机氮加入土壤中,这将有可能会通过有机氮的矿化和硝化降低土壤的 pH。土壤的最终 pH 是两种过程共同作用的结果。用采自该试验地的土壤的培养实验所得的结果表明,羽扇豆的根使土壤 pH 降低,而加入羽扇豆的茎叶则使土壤 pH 增加(数据未列出)。因此,将残茬,特别是豆科植物的残茬留田有可能加速土壤的酸化。

2.4 土壤铝

土壤酸化导致土壤铝的有效性增加。在 14 年试验期间,土壤交换性铝(Al_k)和 CaCl₂ 提取铝(Al_{Ca})均随时间而增加。小麦与两种豆科植物轮作,由于导致较高的酸化速度,使土壤中 Al_k 和 Al_{Ca} 的量高于其它两种轮作处理(图 2)。施用铵态氮肥和残茬留田均加速了土壤的酸化,也增加了土壤 Al_k 和 Al_{Ca} 的量(图 3 和图 4)。在澳大利亚 Al_{Ca} 被用作判断植物铝毒的一个指标。一般对铝高度敏感植物的 Al_{Ca} 的临界浓度在 0.5—2.0 mg · kg⁻¹ 范围内,敏感植物 Al_{Ca} 的临界浓度在 2.0—4.0 mg · kg⁻¹ 范围内^[6]。本试验中,对小麦—蚕豆和小麦—羽扇豆轮作处理在施肥情况下,1992 年的土壤样品中 Al_{Ca} 分别为 1.58 和 2.45 mg · kg⁻¹。在这样的条件下,对高度敏感和敏感的植物有可能产生铝毒,并导致作物减产。

总之,从本文的结果可以看出,一些不当的农业

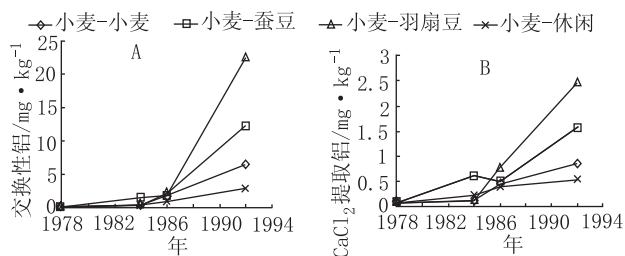
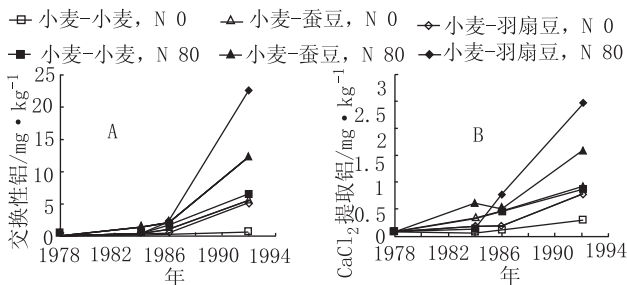


图 2 轮作措施对土壤铝的影响

(A. 交换性铝; B. CaCl_2 提取铝)Figure 2 Effect of crop rotation on (A) soil exchangeable Al (B) and CaCl_2 extractable Al图 3 氮肥对土壤铝的影响 (A. 交换性铝; B. CaCl_2 提取铝)Figure 3 Effect of application of N - fertilizer on (A) soil exchangeable Al and (B) CaCl_2 extractable Al

措施可以加速土壤的酸化进程, 增加土壤中铝等有毒元素的有效性, 并有可能导致作物减产。

3 两点体会

(1) 与国外同类研究相比, 我们缺少长期定位研究结果。所以虽然国内已对土壤酸度和酸化问题进行了比较多的研究, 但多数研究者用数学模型或室内模拟实验来进行研究, 目前还不能就酸沉降和农业措施对土壤酸化的影响程度进行定量的分析和描述。

(2) 在土壤酸化问题研究中, 近 20 年来国内对酸沉降(或酸雨)给予了比较多的关注, 但忽略了某些不当的农业措施在土壤酸化中的作用。从本文结果看, $80 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的铵态氮肥已明显加速了土壤的酸化。国内氮肥用量比本文的用量要高得多, 其对土壤酸化的影响是不容忽视的。建议加强对酸性土壤地区某些农业措施在土壤酸化中作用的研究, 使对我国的土壤酸化问题有更全面的认识。

参考文献:

[1] Aitken RL, Moody PW. The effect of valence and ionic strength on the

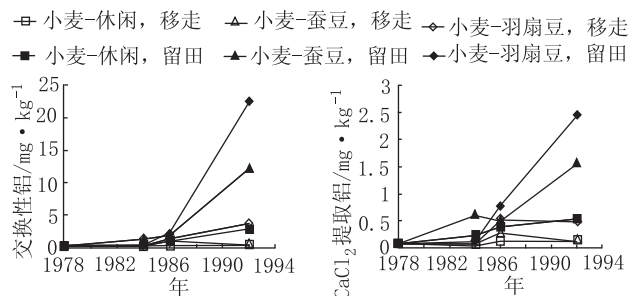


图 4 残茬管理对土壤铝的影响

(A. 交换性铝; B. CaCl_2 提取铝)Figure 4 Effect of stubble management on (A) soil exchangeable Al and (B) CaCl_2 extractable Al

measurement of pH buffer capacity[J]. *Aust J Soil Res*, 1994, 32: 975 - 984.

- [2] Binkley D, Driscoll CT, Allen HL, et al. Acidic Deposition and Forest Soils. Springer - verlag: New York, 1989. 1 - 12, 65 - 85.
- [3] Coventry DR, Farhoodi A, Xu RK. 2001. Managing soil acidification through crop rotations in southern Australia[A]. In: Rengel Z ed. Handbook of Soil Acidity[C]. Marcel Dekker, Inc.: New York, 2002 (in print).
- [4] Cregan PD, Scott BJ. Soil acidification - an agricultural and environmental problem[A]. In: Pratley JE and Robertson A ed. Agriculture and the Environmental Imperative[C]. CSIRO Publishing: Melbourne, 1998. 98 - 128.
- [5] Dolling P J. Effect of lupins and location on soil acidification rates[J]. *Aust J Exp Agric*, 1995, 35: 753 - 763.
- [6] Fenton G, Helyar KR, Abbott T. Soil acidity and liming. Agfact AC 19, second edition. NSW Agriculture, Australia, 1996.
- [7] Helyar KR, Porter WM. Soil acidification, its measurement and the processes involved[A]. In: Robson AD ed. Soil Acidity and Plant Growth[C]. Academic Press: Sydney, 1989. 61 - 100.
- [8] Helyar KR, Cregan PD, Corey RB. Soil acidity in New South Wales - current pH values and estimates of acidification rates[J]. *Aust J Soil Res*, 1990, 28: 523 - 537.
- [9] Ladd JN, Amato M. The fate of nitrogen from legume and fertiliser sources in soils successively cropped with wheat under field conditions [J]. *Soil Biol Biochem*, 1986, 18: 417 - 425.
- [10] Reuss J O, Johnson DW. Acid Deposition and the Acidification of Soils and Waters. Springer - verlag: New York, 1986. 1 - 15.
- [11] Ritchie GPS. The chemical behaviour of aluminium, Hydrogen and manganese in acid soils[A]. In: Robson AD ed. Soil Acidity and Plant Growth[C]. Academic Press: Sydney, 1989. 1 - 60.
- [12] Schultz JE. Crop production in a rotation trial at Tarlee, South Australia [J]. *Aust J Exp Agric*, 1995, 35: 865 - 876.
- [13] Wilson AD, Sergeant GA. The colorimetric determination of aluminium in minerals by pyrocatechol violet[J]. *The Analyst*, 1963, 88: 109 - 112.