

条状超深耕对皖南旱坡地土壤性状及烤烟产质量的综合效应^①

潘金华¹, 庄舜尧^{1*}, 曹志洪¹, 蔡宪杰², 程 森²

(1 土壤与农业可持续发展国家重点实验室(中国科学院南京土壤研究所), 南京 210008;

2 上海烟草集团有限责任公司, 上海 200082)

摘要: 为改善皖南地区旱坡地烟叶土壤环境, 提升烟叶产量和质量, 本研究引入条状超深耕技术(DC), 探讨该技术对红壤旱坡地土壤性状改良、烤烟产量和质量的综合效应。结果显示, DC 处理较烟农常规种植方法处理(CK)可明显改善土壤理化性状, 土壤含水量增加 8.54%, 土壤总孔隙度增加 7.46%, 土壤体积质量降低 7.99%, 土壤 pH 上升了 0.71 个单位($P < 0.05$)。从产量看, DC 较 CK 处理上等烟叶增产 134.2 kg/hm²; 从烟叶化学指标看, DC 处理的烟碱含量降低了 10.81%, 全氮含量降低了 27.04%, 全钾和还原糖增加了 4.35% 和 10.24%, DC 处理对提升烟叶品质有良好的效果。本研究结果表明, 条状超深耕技术对皖南旱坡地烤烟种植有着重要的实践意义, 可为全国旱坡地烤烟种植提供新的有效措施, 并对其他类似作物的种植也有借鉴价值。

关键词: 条状超深耕; 土壤理化性质; 烤烟; 产质量; 内在品质

中图分类号: S156.6

深松耕作目前在农业种植上有着比较成熟的应用^[1-2], 大部分应用在小麦和玉米等农作物上^[3-5, 11]。诸多的研究表明, 通过对土壤的深松耕作能够打破犁底层, 从而降低土壤体积质量, 增加土壤的孔隙度, 提高土壤的持水力^[6-8]。在旱地分布区, 土壤的蓄水能力对作物的生长起着至关重要的作用。烟草的生长状况主要取决于烟根在土壤中汲取营养的多少, 而且烟根在土壤中穿透的能力受到土壤体积质量的影响很大^[9], 当土壤体积质量较大时($> 1.5 \text{ g/cm}^3$), 土体紧实, 土壤中的水分和营养成分不能很好地被烟根所吸收, 而且紧实的土体也进一步阻止了烟根根系向下生长的趋势^[10]。土壤体积质量小, 土体疏松, 增加了土壤孔隙度, 能够提高土壤持水性和通气性, 表层的水分和营养成分能够更好地下渗至根系的各个部位, 从而被根系所吸收, 根系在疏松的土壤中向下扩展的阻力也更小^[11], 也能达到汲取深层的营养成分及水分。但以往的深松耕作成本较高, 耗时长、效率低^[12], 阻碍了其应用; 且深耕的深度大多在 30 cm 左右^[4-5, 11], 效果有限。鉴于此, 结合皖南旱坡地的土壤环境,

立足降低深耕成本, 提高深耕效率, 我们引入了“条状超深耕技术”, 即采用条状开沟式的深耕方式来种植作物, 以降低深耕成本, 提高深耕深度($> 40 \text{ cm}$), 更好地发挥深耕效果。因此, 我们通过田间试验比较了条状超深耕技术(DC)与常规种植技术(CK)旱坡地烟草产质量以及内在化学性质的差异, 旨在为皖南旱坡地超深耕方式下推广特色烟草种植提供基础数据。同时, 本研究对于我国其他烟区的旱坡地烟叶和其他作物的种植也具有重要的指导意义。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验地位于皖南宣城市宣州区杨柳镇双乐村南冲林场, 属于典型北亚热带湿润性季风气候区。在烟草生长季节, 皖南具有充足的温度和光照资源, 3—8 月份 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温 3 760 $^\circ\text{C}$, 平均温度 21.9 $^\circ\text{C}$; 日照时数 979.4 h, 日照百分率 45%。皖南也拥有比较充沛的降雨, 3—8 月份平均累积降雨量 941.4 mm, 月均降雨量 156.9 mm, 降雨高峰位于 6 月中旬—7 月上

基金项目: 沪皖现代烟草农业高科技示范园科技专项(2013-2015)资助。

* 通讯作者(syzhuang@issas.ac.cn)

作者简介: 潘金华(1989—), 男, 安徽安庆人, 硕士研究生, 主要从事自然地理学研究。E-mail: isscaspjh1989@163.com

旬，气候条件总体上适合于优质烤烟种植。试验区的土壤为第四纪红黏土发育的铝质湿润淋溶土，土壤通透性差且易板结，属于板结、肥力低、土层薄、酸性强且易旱的红壤旱坡地。2014 年试验地植烟的时间为 3—7 月份，试验期间的 3 月与 6 月的降水量距多年同期均值要少(图 1)，尤其是 6 月份低于同期均值约 34%；而 4 月、5 月、

7 月份的降水较往常要多，特别在 7 月份高出同期约 63%。

1.2 试验设计与处理

针对 2014 年田间旱地烟叶试验，设置了对照烟农常规种植方法处理(CK)以及采用条状超深耕处理(DC)。DC 处理采用开沟式深耕机进行深耕处理，深度为 50 cm(图 2)。

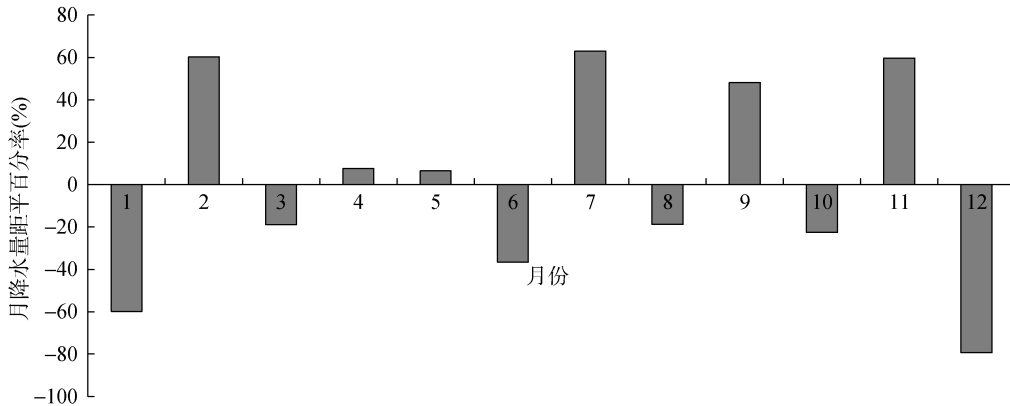


图 1 2014 年试验地月降水量距平百分率

Fig. 1 Percentages of distance to mean month rainfalls at study site in 2014

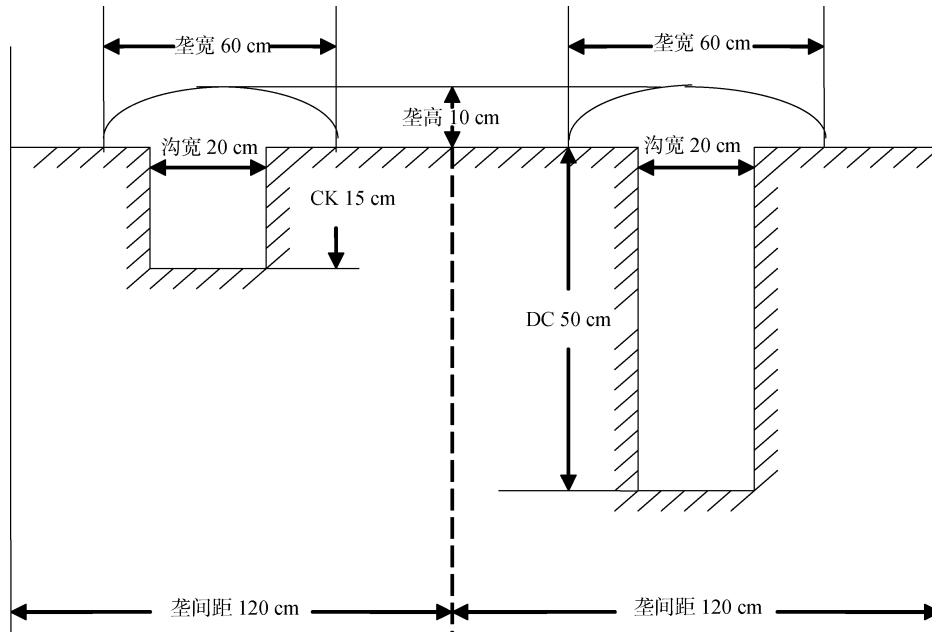


图 2 条状超深耕处理试验设计

Fig. 2 Schematic diagram of strip ultra-deep tillage in experiment

通常，当地烟农常规的烟叶生产过程包括：施肥、栽种、管理、采收、烘烤、分级及出售。在整个试验过程中，我们参与了除销售外的所有过程。施肥：按皖南烟叶公司规定的施肥方案，也就是每亩施用烟草专用复合肥 750 kg/hm²，再分别加施 MgSO₄ 和 KNO₃ 225 kg/hm²。两个处理分别设计 3 次重复小区，小区规格为 4.8 m×12.5 m，小区采用随机排列法。CK 处

理在条状施肥后用起垄机在起垄条上旋耕 15 cm 混合成垄，垄高 10 cm 左右，垄宽 60 cm，垄间距 120 cm，旋耕宽度为 20 cm 左右(图 2)。DC 处理先用深耕机在起垄条上进行深耕(50 cm)，再条状施肥后，与 CK 处理一样旋耕混合成垄(图 2)。所有处理均在 3 月 16 日完成烟苗移栽，株距 45 cm，试验处理所用的烟草品种均为云烟 97。

1.3 样品采集与测定方法

土壤样品采集与测定：每个小区均采用多点取样法，分别在烤烟移栽前和采摘全部结束时，采集植株周围土壤样品，测定土壤体积质量(环刀法)、含水量(环刀法)、全氮(重铬酸钾-硫酸消化法)、有机质(重铬酸钾法)、pH(电位测定法，1:2.5水比)、硝态氮(紫外分光光度计法)、铵态氮(靛酚蓝比色法)和速效钾(原子吸收分光光度法)，详细测定方法见文献[13-14]。

烟叶样品采集与测定：按照“下部叶适时早采、中部叶成熟采收、上部叶充分成熟采收”的原则，成熟一片采收一片。分小区单独采摘、烘烤、统计产量，烟叶分级后按处理分别称重记录，计算各级产量。

烟草化学指标的测定：根据烟草行业标准测定每个试验小区的上部烟叶和中部烟叶的烟碱(紫外分光光度计法)、全氮(过氧化氢-硫酸消化法)、还原糖(铁氰化钾比色法)和全钾(火焰光度计法)，具体测定方法

详见文献[18]。

1.4 数据分析

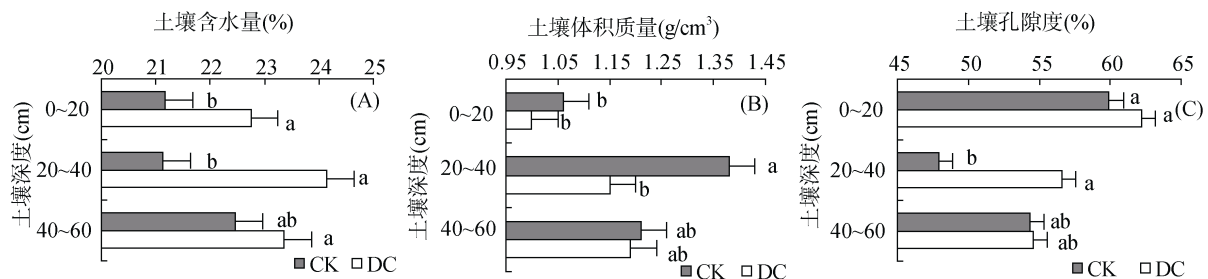
采用 Microsoft Office Excel 2013 和 IBM SPSS Statistics 22.0 处理数据和进行统计分析，以 Microsoft Office Excel 2013 绘图。

2 结果与分析

2.1 条状超深耕对红壤旱地土壤理化性质的影响

2.1.1 条状超深耕对土壤物理性质的影响

CK 处理的土壤含水量表现出随着深度增加先降低后上升的趋势，而 DC 处理则表现出随着深度增加先上升后降低的趋势(图 3A)；DC 处理的土壤含水量均高于对照处理，0~20、20~40 和 40~60 cm 分别提高了 7.41%、14.24% 和 3.96%，尤其是在 20~40 cm 的深度区间持水效果达到显著差异水平。表明了通过条状深松能够达到很好的蓄水保墒的作用，尤其是增加深层土壤的含水量。



(图中小写字母不同表示差异达到 $P < 0.05$ 显著水平，下同)

图3 不同处理土壤含水量、土壤体积质量和土壤总孔隙度的变化

Fig. 3 Soil moisture contents, soil bulk densities and soil porosities under different tillage treatments

CK 处理的土壤体积质量随深度增加表现先剧烈上升后又回落的趋势，而 DC 处理则随深度增加土壤体积质量缓慢上升(图 3B)。DC 处理的土壤体积质量均低于对照处理，0~20、20~40 和 40~60 cm 分别降低了 0.06、0.23 和 0.02 g/cm^3 ，尤其是在 20~40 cm 的深度区间下降最显著。表明了通过条状深松能够很好地降低土壤体积质量。

随着深度的增加，DC 处理的土壤总孔隙度表现出缓慢下降的趋势，而 CK 处理则表现出先降后升的趋势。DC 处理的土壤总孔隙度均高于 CK 处理，0~20、20~40 和 40~60 cm 分别提高了 3.80%、18.19% 和 0.39%(图 3C)，尤其在 20~40 cm 的深度区间总孔隙度增加达到显著差异水平。表明了通过条状深松在增加土壤通气性和土壤孔隙比对照处理有更好的效果。

烟株根系伸长需要消耗大量能量，所以土壤物理性状就决定了烤烟根部的生长发育的状况^[15]。一般认为土壤越紧实，土壤水分和空气就越稀少，根系没有合适的生长条件，生长速度也就减缓，这样烟株根系不能深扎入土层而会明显影响地上部分的生长^[4]。上述结果表明，条状超深耕处理明显改善了土壤物理性状。

2.1.2 条状超深耕对土壤化学性质的影响

不同的耕作处理对土壤养分的影响各有差异，DC 处理的土壤 pH 和有机质相对 CK 处理有明显的提高，pH 提高了 0.71 个单位(表 1)。氮素的营养条件对烟草的生长发育有显著的影响，氮素供应适当，烟草形成的叶片较大，色泽正常，烟草的产量和品质均不错；氮素供应过多，会导致叶片过大，叶脉变粗，色泽过深，烟叶会贪青晚熟，不利于落黄，从而降低了烟叶的质

量；而氮素供应不足时，烟株过于矮小，烟叶变小，叶绿素降低，蛋白质的含量也会降低，导致烟草的产

量受损^[16]。土壤全氮、硝态氮、铵态氮以及速效钾虽有提高，但不显著(表 1)。

表 1 不同处理对土壤基本化学性质的影响
Table 1 Effects of different tillage treatments on soil basic chemical properties

处理	pH	全氮(g/kg)	硝态氮(mg/kg)	铵态氮(mg/kg)	速效钾(mg/kg)
CK	4.63 ± 0.08 b	1.2 ± 0.0 a	44.19 ± 11.03 a	0.88 ± 0.05 a	25.28 ± 3.14 a
DC	5.34 ± 0.21 a	1.4 ± 0.5 a	48.68 ± 2.68 a	1.10 ± 0.48 a	31.25 ± 3.98 a

注：表中同列数据小写字母不同表示处理间差异达到 $P < 0.05$ 显著水平，下表同。

2.2 条状超深耕对烟草产量和烟叶的质量和分级的影响

烤烟干重是烤烟品质的重要指标之一，经烘烤工艺烘烤后的烟叶干重在一定程度上反映烤烟工业上的品质。在烤烟的采烤期，烟叶共分 4 次采收。每次烘烤后，均进行分杆测量，然后将每个小区多次结果累加，统计 3 个重复后得到烟叶产量结果(表 2)。由于不同位置的烟叶农艺性状和化学成分本身存在差异，烤干出炉后的品质参差不齐，为了便于统一收购

及按质论价，烟叶分级是由当地技术工人按销售时的标准进行分级，将烤烟分为上橘二、上橘三、上橘四、中橘二、中橘三、中橘四、下橘二和下橘三 8 个级别，其他等级的烟叶量很少，没有再分。从结果来看(表 2)，两种处理在分级后的总产量上差异不显著，条状深松处理总的产量相比对照没有显著增加，但条状深松处理相较对照处理上等烟叶增加了 134.2 kg/hm²，比例上升了 5.5%，表明条状深松有利于提高烟叶的等级和增加优质烟叶产量。

表 2 不同处理烤烟产量等级及所占比例
Table 2 Tobacco yields, grades and percentages of various grades under different tillage treatments

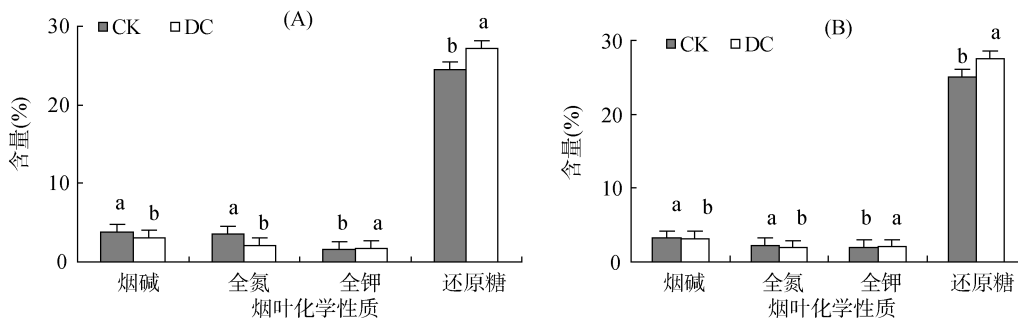
处理	上等烟叶		中等烟叶		分级后总产量(kg/hm ²)
	产量(kg/hm ²)	比例(%)	产量(kg/hm ²)	比例(%)	
CK	1 534.1 ± 13.7	65.1	822.5 ± 21.4	34.9	2 356.5 ± 31.3 a
DC	1 668.3 ± 27.5	70.6	694.5 ± 11.3	29.4	2 362.5 ± 44.6 a

注：上二、中二、中三为上等烟；上三、上四、中四、下二、下三为中等烟。

2.3 条状超深耕对烟叶化学性质的影响

烟碱是烟草作物中特有的碱，而烟碱中主要包含的成分是尼古丁。烟碱含量作为评价烟草质量的一个重要指标，烟碱含量过高会导致刺激性强且有害健康；而含量过低则不能满足吸食者的要求^[4]。DC 处

理的上、中部烟叶的烟碱含量均比 CK 处理显著降低，分别下降了 18.20%、3.42%(图 4)，其中上部烟叶相比对照处理极显著下降，因此，通过条状超深耕是有利于降低烟叶中的烟碱含量的，从而达到了很好的效果。



(A：上部叶的内在化学品质的比较；B：中部叶的内在化学品质的比较)

图 4 不同耕作处理对烟叶内在化学指标的影响

Fig. 4 Effects of different tillage treatments on tobacco inner chemical indicators

烟叶总氮含量低会导致吃味平淡，但含量高则会产生浓烈辛辣的刺激烟气^[17]，烤烟的总氮含量范围为 1.5%~3.5%，最适宜的含量在 2% 左右^[18]。大于

3.5%，劲头太强；小于 1%，劲头不足。由图 4 可知，DC 处理与 CK 处理在烟叶全氮含量上差异显著，DC 处理的上、中部烟叶的全氮含量都显著低于 CK 处

理,分别降低了40.90%、13.18%。结果表明条状超深耕能够很好地降低烟叶全氮。

烟叶含钾量的高低与烟叶的品质有着密切的关系,烟叶的含钾量影响烟叶的燃烧性能,并与烟叶的香气、吃味等有关,我国的烟叶含钾量普遍低于美国、巴西等世界著名优质烟叶生产国家,提高烟叶的含钾量是提高我国烟叶品质的关键之一^[4]。图4表明,DC处理的上、中部烟的含钾量均显著高于CK处理,分别提高了7.69%和1.00%。表明条状超深耕可以提升烟叶上、中部位的含钾量。

烟叶中的还原糖是评价烟草品质的重要指标,还原糖含量越高,烟叶的品质往往也越好^[16]。DC处理的上、中部烟叶均高于CK处理(图4),分别提高了10.64%和9.84%。表明条状超深耕能够合理提高还原糖含量。

3 讨论与结论

烟草作为我国当前重要的经济作物之一,对产量和品质都有着很高的要求,在保证产量的条件下,提高烟叶品质更为重要。针对皖南旱坡地的烤烟生产的限制性因素,本研究着重于改善烤烟生长微域环境、降低限制因子的影响程度、创造皖南旱坡地烟叶优质适产的深耕起垄技术。皖南烟区的植烟旱坡地土壤酸度高、偏黏重、持水性能差、体积质量高、孔隙度低,易受到春旱、夏伏旱、秋旱-降水分布不协调等自然灾害的威胁,阻碍烟草根系生长,进而影响烟叶产量与质量提高。

很多研究指出通过在旱地深耕的方法来降低土壤体积质量,提高土壤持水能力可以有效地缓解农作物(小麦、玉米等)在旱季的供水不足^[19],促进农作物的生长和产质量提高。通过深耕的方法来增加烟草种植的产量以及质量,是一种有益的探索。本研究在他人各种深耕的基础上,结合皖南旱坡地土壤的实际情况,提出条状超深耕技术。条状超深耕达到50 cm时,由于深耕机打破了原来的犁底层,深层土壤也变疏松,降低了土壤体积质量,增大了土壤孔隙度,提高了降水的入渗率^[20],条状超深耕处理的体积质量相比对照处理平均降低超过了7.99%,土壤含水量平均增加了8.54%。在20~40 cm的深度效果最大,这主要跟深耕的深度50 cm有关。烟草根系70%~80%集中在16~50 cm的耕作层^[21],所以在20~40 cm的土壤含水量增加和土壤体积质量的降低更有利于根系的向下生长。同时由于通过条状深松后土

壤得到疏松,增大了土壤粗糙度,因而更有利于减少降雨径流^[22],由此增加了旱坡地土壤的水库容,从而在烟草的生长期将有限的降水量最大限度地蓄积在土壤中,变不均匀的降水为稳定的土壤供水^[23]。

DC处理增产效果相较CK处理不显著,但上等烟叶的比例提高了5.5个百分点;同时对比烟叶的化学品质发现,DC处理相较对照处理降低了烟碱、全氮含量,提高了全钾和还原糖含量,进一步协调烟叶的糖碱比,烟叶中烟碱的合成受土壤pH和土壤水分影响显著。对比DC处理和CK处理发现,烟草的上、中部烟叶的烟碱下降显著。过高或过低的pH都不利于生成合理的烟碱含量^[9-10, 15-16]。烟草是喜硝态氮作物,尤其在酸性土壤上效果更为凸显^[4]。杜文等^[24]认为烟叶的常规化学成分应在一定的范围内,中部烟的烟碱含量应该在3%左右,中部烟叶的还原糖含量应该大于15%,中部烟叶的糖碱比应该在9~10左右。曹志洪等^[4]认为烟叶中的钾含量受土壤含水量影响最为明显,在持水性能较好的土壤环境中,烟叶的吸钾量最为有利。条状超深耕降低了土壤体积质量,使土壤总孔隙度和土壤含水量显著提高,为增加烟叶产量和提高烟叶品质提供了有效途径。

尽管条状超深耕技术为烤烟生产提供了有效的应对措施,但该技术推广应用中还存在着一些问题,譬如适宜于南方丘陵山地的小型深耕机、维持深耕效果的土壤改良方法等,有待进一步的研究。

参考文献:

- [1] 陈强, Yuriy S K, 陈渊, 等. 少免耕土壤结构与导水能力的季节变化及其水保效果[J]. 土壤学报, 2014, 51(1): 11-21
- [2] 孟庆英, 张春峰, 贾会彬, 等. 不同机械改土方式对白浆土物理特性及酶活性的影响[J]. 土壤学报, 2016, 53(2): 552-559
- [3] 李静静, 李从锋, 李连禄, 等. 苗带深松条件下秸秆覆盖对春玉米土壤水温及产量的影响[J]. 作物学报, 2014, 40(10): 1 787-1 796
- [4] 王新兵, 侯海鹏, 周宝元, 等. 条带深松对不同密度玉米群体根系空间分布的调节效应[J]. 作物学报, 2014, 40(12): 2 136-2 148
- [5] 郑成岩, 于振文, 张永丽, 等. 土壤深松和补灌对小麦干物质生产及水分利用率的影响[J]. 生态学报, 2011, 37(8): 1 432-1 440
- [6] Sasal M C, Andriulo A E, Taboada M A. Soil porosity characteristics and water movement under zero tillage in silty soils in Argentinian Pampas[J]. Soil Tillage Research, 2006, 87: 9-18

- [7] Xu D, Mermoud A. Topsoil properties as affected by tillage practices in North China[J]. *Soil Tillage Research*, 2001, 60: 11–19
- [8] Motavalli P P, Stevens W E, Hartwig G. Remediation of subsoil compaction and compaction effects on corn N availability by deep tillage and application of poultry manure in a sandy-textured soil[J]. *Soil Tillage Research*, 2003, 71: 121–131
- [9] 曹志洪. 优质烤烟生产的土壤与施肥[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1991: 11–14
- [10] 高传奇. 土壤质地对烤烟生长和品质的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2013
- [11] 李国清, 石岩. 深松和翻耕对旱地小麦花后根系干重及产量的影响[J]. *农业科学*, 2012(2): 1–4
- [12] 郭志军, 佟金, 周志立, 等. 耕作部件土壤接触问题研究方法分析[J]. *农业工程学报*, 2001, 32(4): 102–104, 112
- [13] 张甘霖, 龚子同. 土壤调查实验室分析方法[M]. 北京: 科学出版社, 2012
- [14] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000
- [15] 中国农业科学院烟草研究所. 中国烟草栽培学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2005
- [16] 朱杰. 河南烤烟总氮、烟碱含量状况及与其他品质指标的关系[D]. 郑州: 河南农业大学, 2009
- [17] 刘青丽, 陈卓, 张云贵, 等. 我国西南烟区典型植烟土壤烤烟氮素的吸收规律[J]. *作物学报*, 2013, 39(3): 486–493
- [18] 王瑞新. 烟草化学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2003
- [19] 孙敏, 高志强, 赵维峰, 等. 休闲期深松配施氮肥对旱地土壤水分及小麦籽粒蛋白质积累的影响[J]. *作物学报*, 2014, 40(7): 1 286–1 295
- [20] 马耀光, 张保军, 罗志成. 旱地农业节水技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2003: 100–101
- [21] 杨林波, 邵慧芳, 章新军, 等. 烟草根系研究进展[J]. *烟草科技*, 2002(10): 45–48
- [22] 高焕文, 李问盈. 深耕技术和机械展望[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004: 54–55
- [23] 肖继兵, 孙占祥, 杨久廷, 等. 半干旱地区中耕深松对土壤水分和作物产量的影响[J]. *土壤通报*, 2011, 42(3): 709–714
- [24] 杜文, 谭新良, 易建华, 等. 用烟叶化学成分进行烟叶质量评价[J]. *中国烟草学报*, 2007, 13(3): 25–31

Effects of Strip Ultra-deep Subsoiling on Tobacco Growth, Yield and Quality in Uplands at South Anhui

PAN Jinhua¹, ZHUANG Shunyao^{1*}, CAO Zhihong¹, CAI Xianjie², CHENG Sen²

(1 *State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture (Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences)*, Nanjing 210008, China; 2 *Shanghai Tobacco Group Limited Company*, Shanghai 200082, China)

Abstract: A strip ultra-deep subsoiling method (DC) was introduced to investigate its effect on soil environment and tobacco yield and quality. Results showed that DC treatment significantly improved soil physical and chemical properties compared with the conventional treatment (CK). Soil moisture content and total porosity increased by 8.54% and 7.46%, while bulk density decreased by 7.99%. Moreover, soil pH increased by 0.71 unit ($P < 0.05$). DC treatment increased high-class tobacco leave yield by 134 kg/hm² compared with CK. At the same time, DC treatment decreased nicotine and total nitrogen content by 10.81% and 27.04%, while increased total potassium and reducing sugar contents by 4.35% and 10.24%, respectively, suggesting DC treatment can enhance the quality of tobacco leaves, it is suitable and practical for upland tobacco production in South Anhui and other similar regions in China as well as for other similar crops.

Key words: Strip ultra-deep subsoiling; Soil physical and chemical properties; Flue-cured tobacco; Yield and quality; Internal quality