

文章编号: 1673-9868(2007)09-0108-05

旱地作物免耕垄作土壤供肥性能研究

官会林¹, 沈有信², 段庆钟³

1. 云南师范大学 能源与环境科学学院, 昆明 650092; 2. 中国科学院 西双版纳热带植物园, 昆明 650223;

3. 云南省 土壤肥料工作站, 昆明 650034

摘要: 为抑制山地红壤肥力退化, 提高旱地作物产量, 以传统翻耕垄作法为对照, 3a 定位试验研究了高原旱地作物免耕垄作下的土壤供肥性能及其产量。结果表明: 在冬春季干旱少雨的高原气候区, 传统翻耕垄作法旱地冬小麦早衰突出, 产量低, 而免耕垄作对提高旱地红壤的保水肥能力、改善土壤的理化性状、提高旱地作物产量及抑制旱地红壤磷素固定和氮素养分淋失的作用最为明显, 是高原红壤区旱作农业发展的一项有效措施。

关键词: 旱地红壤; 免耕垄作; 供肥性能; 作物产量

中图分类号: S158.5

文献标识码: A

云南山地红壤集中分布于海拔 1 750~2 100 m 之间的高原丘陵和低山地貌区域, 属亚热带低纬高原季风气候, 干湿季分明, 降雨集中于夏季, 冬春季干旱少雨。高原山地红壤养分贫瘠、土壤侵蚀、保水肥性能差及干旱等生产障碍因素突出, 特别是冬春季作物受降雨量的制约产量低而不稳。如何通过合理的耕作措施既达到高产节源, 又能提高冬春季旱地土壤的保水能力及培肥土壤, 是高原山地红壤区旱作农业发展的一个重要问题。

免耕不但具有增加土壤贮水量、减少径流量和蒸发量、增强土壤抗风蚀能力的优点, 而且还具有减少劳动用工量、经济回报率高的优势, 因而, 免耕栽培技术在世界上得到了大力推广^[1-3]。自上世纪 80 年代以来, 我国陆续开展了水稻、玉米、大豆等作物免耕垄作的研究, 近几年免耕栽培技术在我国中低产田地和水旱轮作上的研究与应用取得了显著成效^[4-8], 但针对旱地红壤区域的免耕垄作栽培技术及其土壤供肥性能方面的研究尚十分少见。因此, 试验研究为南方山地红壤区冬季作物免耕栽培

技术的推广应用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

试验研究区选择在云南安宁市太平乡的山地红壤, 区域海拔 1 890 m, 年均温 14.7℃, 年均降雨量 970 mm, 雨量集中于夏季 6~8 月, 冬春季干旱少雨, 冬春季小麦生长期降雨量仅占夏季降雨量的 20% 左右。地形为低丘岗地, 土壤为第四纪红粘土发育的红壤, 由于传统耕作方式的影响, 旱地土壤具有不同程度的侵蚀, 土壤保水肥性能差, 旱地作物以玉米和小麦轮作为主, 玉米产量为 9 000 kg/hm² 左右、小麦 4 500 kg/hm² 左右。供试土壤耕层有机质 23.5 g/kg, 土壤 pH=5.8, 全氮 1.6 g/kg, 碱解氮 89.7 mg/kg, 速效磷 8.7 mg/kg, 速效钾 76.5 mg/kg。

1.2 试验设计与方法

定位试验于 2002 年 10 月至 2005 年 10 月, 试验设双免垄作法和传统翻耕垄作法两种耕作方式,

收稿日期: 2007-06-20

基金项目: 农业部平衡施肥项目及云南省耕地生产力调查经费资助项目(2004-2005)。

作者简介: 官会林(1964-), 男, 云南昆明人, 副教授, 主要从事土壤与农业生态方面的研究。

作物收获后只留低茬而将秸秆其余部分全移走。双免垄作法指小麦与玉米两季轮作均采用免耕垄作法，即 3 a 内垄作栽培只作表层用铁锄灭茬，不进行耕翻，作物残茬覆盖于垄墒表面，沿垄墒面表皮开沟，沟深 0~5 cm，条播小麦或点播玉米种，施肥盖土；传统翻耕垄作法指小麦与玉米两季轮作，每季作物收获后，翻耕犁耙，重新起垄，基肥及作物残茬翻入土中。传统翻耕垄作法每季作物起垄规格、施肥量、施肥品种及病虫害防治等措施均与双免垄作法相同。

试验处理小区面积为 60 m²，4 重复，随机排列，供试品种均为当地主导品种，小麦每小区播种量为 0.9 kg，玉米每小区播种量为 0.6 kg，玉米和小麦每季作物每小区均分别施入等量尿素 2.3 kg、普钙 4.5 kg、秸秆有机肥 55.0 kg。

定位试验共种植 3 季小麦和 3 季玉米，每年 10 月下旬种小麦，5 月上旬收获，5 月中旬种玉米，9 月上旬收获。每季作物收获以小区计产。土壤农化分析样品采集：双免垄作法于 2005 年 5 月 8 日第 3 季小麦收获后采集土样，传统翻耕垄作法于 2005 年 5 月 3 日第 3 季小麦收获后采集土样，每小区分别采集 0~20 cm 土层内综合混合土样，风干后磨细以备分析测试。

1.3 测定项目及分析方法

项目测定及方法^[9]：土壤容重采用环刀法在小麦收获后测定，土壤自然含水量用烘干称重法，土壤比重用比重瓶法，土壤颗粒分析用比重计速

测法测定，土壤有机质用重铬酸钾法，胡敏酸(HA)和富里酸(FA)总量用焦磷酸钠与氢氧化钠混合液提取、重铬酸钾容量法测定，胡敏酸(HA)用分离沉淀重铬酸钾容量法测定，土壤 NO₃-N 用酚二磺酸比色法，土壤速效 P 用碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法。

2 结果与分析

2.1 旱地免耕垄作对土壤保水性能的影响

不同耕作方法影响到小麦土壤含水量，进而影响小麦不同生育期对水分的需求。试验定位至第 3 年，分别测定了双免垄作法和传统翻耕垄作法的第 3 季冬小麦在苗期、拔节期、孕穗期和成熟期的土壤自然贮水量，从表 1 看出：双免垄作法的冬小麦在 4 个不同生育期内的土壤贮水量均高于传统翻耕法，土壤含水量分别增加 60.29、23.45、16.80、24.84 g/kg。说明双免垄作法可抑制冬小麦生殖生长期前土壤无效蒸发，有利于促进冬小麦出苗、分蘖、营养生长及生殖生长。根据 3 年田间调查，播种后 15 d 双免垄作法冬小麦出苗率达 82.3%~89.5%，而传统翻耕法仅为 50.3%~54.8%；传统翻耕法由于加大了土壤水分的蒸发量，加之冬春季节干旱少雨，旱地小麦因水分胁迫早衰突出，提前枯萎，小麦收获期比双免垄作法提前 5~7 d。所以，旱地双免垄作法能把土壤水分保持到小麦水分消耗量最多的灌浆期及后期利用，有利于冬小麦籽粒灌浆、成熟，提高粒重，具有良好的保水性能。

表 1 免耕垄作法与传统翻耕法土壤含水量

耕作方式	样本	土层 /cm	小麦不同时期土壤含水量/(g·kg ⁻¹)			
			苗期	拔节期	孕穗期	成熟期
			2004-11-5	2005-1-25	2005-2-19	2005-4-30
双免垄作法	12	0~20	291.53	218.76	234.12	196.35
传统翻耕法	12	0~20	231.24	195.31	217.32	171.51

2.2 旱地免耕垄作对土壤物理性能的影响

土壤容重、总孔隙度、团聚体及粘粒含量是土壤的重要物理性状，也是衡量土壤肥力的重要指标之一。从表 2 看出：旱地免耕法与传统耕作法比较，在土层 0~20 cm 内，土壤容重平均降低 0.14 g/cm³，总孔隙度增加 4.87%，>0.25 mm 水稳性团聚体含量增加 7.09%，粘粒含量降低 6.36%。由于免耕

垄作法在表面保留了前作玉米的大量残茬覆盖，对降雨的冲撞具有一定的缓冲性能，可以避免土壤颗粒从自然土壤团聚体中的物理分离^[10]，加之部分玉米残茬被降解为有机质，促进了土壤水稳性团聚体的形成。而传统耕作法，因在翻耕犁耙造成土壤结构的破坏，一次降雨后很容易造成土壤板结或径流。免耕土壤容重的减小，总孔度及团聚体的增

大,无疑有利于使原本风化发育深,质地粘重,通气孔隙少的红壤土的通气透水能力得到提高,进而促进土壤微生物的活力,有利于作物根系下扎,增强了其抗倒伏能力,从而有利于作物产量提高.因此,旱地免耕垄作对抑制山地红壤物理肥力的退化具有明显作用.

表 2 土壤物理性能变化特征

耕作方式	样本	土层	容重/ g	总孔隙度/ %	团聚体/ %	粘粒/ %
		/ cm			> 0. 25 mm	< 0. 002 mm
双免垄作法	12	0 ~ 20	0. 89	67. 47	62. 14	28. 07
传统翻耕法	12	0 ~ 20	1. 03	62. 60	55. 05	34. 43
增减量	12	0 ~ 20	- 0. 14	4. 87	7. 09	- 6. 36

2.3 旱地免耕垄作对土壤有机质与速效 P 和 NO₃⁻ N 影响

2.3.1 土壤有机质

在耕地土壤中胡敏酸(HA)和富里酸(FA)的含量及比值,往往可以反映土壤肥力的质的特征,HA/FA 比值大小与土壤肥力高低成正比.免耕垄作法与传统耕作法比较,在土层 0 ~ 20 cm 内,土壤有机质含量增加 8.83 g/kg,HA 含量增加 0.11%,FA 含量降低 0.07%,HA/FA 比值增加 0.41 个单位,这与连年免耕留茬覆盖,秸秆还田有关.说明免耕留茬覆盖垄作的旱地,由于耕层土壤中保留了前作玉米的大量根茬,有机物归还量高,有利于促进耕层土壤有机质的积累,而传统耕作法则相反.

2.3.2 土壤速效 P

高原山地红壤是一种风化度极深的土壤,由于成土过程的脱硅富铝化作用,土壤中积存了大量的铁铝类氧化物,对磷素具有强烈的固定作用.因此,山地红壤的共同特征表现为土壤有效磷含量低、土壤酸化,旱地作物缺磷症状明显.根据云南红壤磷的形态分析^[11]:红壤中无机磷通常占全磷的 3/4,甚至 80%以上;在无机磷中,能为作物

吸收的 Al-P 和 Ca-P 所占的比例却很少,中、低肥力仅占 5.4% ~ 13.3%,难被作物吸收的 Fe-P 和包裹磷占 86.7% ~ 94.6%.从表 3 看出,旱地免耕垄作法与传统耕作法比较,土壤速效磷含量提高 5.74 mg/kg,说明旱地免耕法能有效提高土壤有效磷含量,对抑制红壤磷素固定作用明显,或许是免耕垄作提高了耕层土壤有机质及保水性能的作用.

2.3.3 土壤 NO₃⁻ N

土壤耕作因影响土壤矿化和水分运动而影响硝态氮的淋失,通过影响土壤的理化性质和生物环境进而影响硝酸盐在土体表层的积累^[12].耕作增加硝态氮淋失^[13],翻耕土壤硝态氮淋失显著高于免耕^[7,14].由于不同耕作措施动土程度以及对土壤粉碎程度的不同,造成土壤硝态氮含量的差异.旱地免耕法与传统耕作法比较,土壤 NO₃⁻ N 含量增加 57.87 mg/kg(表 3),这可能是由于硝态氮存在于土壤溶液中,垄作免耕覆盖土壤水分条件改善,土壤硝化作用旺盛的缘故.因此,旱地免耕垄作法对抑制山地红壤 NO₃⁻ N 的淋失作用优于传统翻耕法.

表 3 不同耕法土壤有机质和速效 P 与 NO₃⁻ N 含量

处理	样本	土层	有机质	腐殖总碳	胡敏酸	富里酸	HA	速效 P	NO ₃ ⁻ N
		/ cm	/ (g · kg ⁻¹)	/ %	HA/ %	FA/ %	/ FA	/ (mg · kg ⁻¹)	/ (mg · kg ⁻¹)
双免垄作	12	0 ~ 20	29.87	0.67	0.32	0.35	0.91	9.89	152.63
传统翻耕	12	0 ~ 20	21.04	0.63	0.21	0.42	0.50	4.15	94.76
增减量	12	0 ~ 20	8.83	0.04	0.11	- 0.07	0.41	5.74	57.87

2.4 不同耕作方式对作物产量的影响

不同耕作方式直接影响作物的产量.从表 4 看出,在施肥量相同的情况下,免耕垄作栽培的小麦

均高于传统翻耕处理.从 3 a 平均产量看,双免垄作法小麦产量达 4 905 kg/hm²,比传统翻耕处理增加 540 kg/hm²,增幅达 12.4%,玉米平均产量达

9 495 kg/ hm²，比传统翻耕增产 255 kg/ hm²，增幅为 2.8 %。配对 t 检验显示，双免垄作法小麦产量差异达到显著水平 ($n = 4$ ， $t = 1.277^*$ ， $p = 0.271$)，玉米产量差异不显著 ($n = 4$ ， $t = 1.828$ ， $p = 0.142$)。说明玉米种植期在夏季雨量充沛、土壤含水量高的环境下，免耕垄作栽培效果不明显，这一

结果与彭文英等^[15] 研究报道的免耕在干旱年份往往较湿润年份比传统耕作更容易保证粮食产量，具有更好的水分利用效率的结果相吻合。并且随免耕年限增加，小麦产量也呈增加趋势，在第 3a 增幅较大。所以，在干旱少雨的冬春季节选择适合的免耕方式，对旱地作物的稳产和增产非常重要。

表 4 不同耕作方式对作物产量的影响

耕作方式		作物产量/ (kg · hm ⁻²)				配对 t 检验
		2003	2004	2005	平均	
双免垄作	玉米	9450	9315	9720	9495	1.828
	小麦	4155	5220	5340	4905	1.277 [*]
传统翻耕	玉米	9150	9375	9210	9240	
	小麦	3990	4680	4425	4365	

3 结 论

在夏季高温多雨而冬春季节干旱少雨的高原红壤区，实行玉米与冬小麦双免垄作栽培方式，虽然对夏季玉米的产量提高不明显，但对提高旱季土壤的贮水量、改善土壤物理性能、提高土壤有机质含量及提高冬小麦产量具有明显效果。通过 3a 试验证明：双免垄作与传统翻耕比较，小麦产量平均增加 540 kg/ hm²，增幅达 12.4 %，小麦产量差异达到显著水平，0 ~ 20 cm 土壤自然含水量增加 16.80 ~ 24.84 g/ kg，土壤容重平均降低 0.14 g/ cm³，总孔隙度增加 4.87 %，> 0.25 mm 水稳性团聚体含量增加 7.09 %，有机质含量提高 8.83 g/ kg，HA/ FA 比值提高 0.41 个单位，速效 P 和 NO₃⁻ N 含量分别提高 5.74 mg/ kg，57.87 mg/ kg。因此，前作为玉米的冬季小麦旱地免耕垄作栽培，对抑制山地红壤肥力的退化作用优于传统耕作法，特别是对抑制旱地红壤磷素固定和氮素养分淋失的作用最为明显，是冬春季节干旱少雨的高原红壤区实施节水栽培及培肥地力与提高旱地作物产量的有效途径。

参考文献：

[1] 邹应斌. 国外作物免耕栽培的研究与应用 [J]. 作物研究, 2004(3): 23 - 28.

[2] 王法宏, 冯 波, 王旭清. 国内外免耕技术应用概况 [J]. 山东农业科学, 2003(6): 49 - 53.

[3] 彭文英. 免耕措施对土壤水分及利用效率的影响 [J].

土壤通报, 2007, 38(2): 379 - 383.

[4] 秦 辉, 吕永波, 王明国. 免耕对土壤侵蚀及土壤养分影响的研究 [J]. 水土保持应用技术, 2006(2): 20 - 21.

[5] 陈军胜, 苑丽娟, 呼格·吉乐图. 免耕技术研究进展 [J]. 农艺科学, 2005, 21(5): 184 - 190.

[6] 王昌全, 魏成明, 李廷强. 不同免耕方式对作物产量和土壤理化性状的影响 [J]. 四川农业大学学报, 2001, 19(2): 152 - 154.

[7] 江晓东, 李增嘉, 侯连涛. 少免耕对灌溉农田冬小麦/夏玉米作物水、肥利用的影响 [J]. 农业工程学报, 2005, 21(7): 20 - 23.

[8] 巩 杰, 黄高宝, 李延梅. 少免耕耕作的农田效应 [J]. 耕作与栽培, 2002(4): 13 - 14.

[9] 农业部全国土壤肥料总站, 土壤分析技术规范 [M]. 农业出版社, 1993: 8 - 77.

[10] 李新举, 张志国. 免耕的土壤适应性 [J]. 土壤通报, 2001, 32(1): 41 - 43.

[11] 王文富. 云南土壤 [M]. 昆明: 云南科技出版社, 1996: 101 - 240.

[12] Katupitiya A, Eisenhauer D E, Ferguson R B, et al. Long-Term Tillage and Crop Rotation Effects on Residual Nitrate in the Crop Root Zone and Nitrate Accumulation in the Intermediate Vadose Zone [J]. Transactions of the ASEA, 1997, 40(5): 1321 - 1327.

[13] Goss M J, How se K R, Lane P W, et al. Losses of Bitrate-N in Water Draining From Under Autumn-Sown Crops Established by Direct Drilling or Mould Board Ploughing [J]. Journal of Soil Science, 1993, 44(1): 35 - 48.

- [14] Dou Z, Fox R H, Tott J D. Seasonal Soil Nitrate Dynamics in Corn as Affected by Tillage and Nitrogen Source [J]. Soil Science of America Journal, 1995, 59 (3) : 858 - 864.
- [15] 彭文英, 张雅彬. 免耕对粮食产量及经济效益的影响评述 [J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24 (4) : 113 - 117.

Properties of Soil Nutrient-Supply in No-Tillage of Raised-Bed Planting Systems of Upland Dry-Land Crops

GUAN Hui-ling¹, SHEN You-xin², DUAN Qing-zhong³

1. College of Energy and Environment Sciences, Yunnan Normal University, Kunming Yunnan 650092, China;
2. Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences, Kunming Yunnan 650223, China;
3. Yunnan Department of Soil and Fertilization, Kunming Yunnan 650034, China

Abstract : To reduce the degradation rate of red soil fertility and increase the dry-land crop production, a 3-year experiment was conducted on soil fertility and dry land crop yield for a no-tillage of raised-bed planting system on Yunnan Plateau, with conventional raised-bed planting as the control treatment. The results showed that winter wheat showed typical symptom of early ageing and the yield was low under the conventional system at Yunnan Plateau, where the weather is dry and rainfall is scarce in winter. In contrast, Typical improvements were observed in soil and water conservation ability, soil physical and chemical properties, and crop yield in the new system. Loss rate of soil P and N decreased significantly. In conclusion, the no-tillage of raised-bed planting system is an effective cultural system in dry red soil area on Yunnan Plateau.

Key words : dry land red soil; no-tillage of raised-bed planting cultivation; nutrient-supply capacity; crop yield

责任编辑 陈绍兰