

堆肥对苏打草甸碱土植被重建的影响^①

吴亚坤^{1,2}, 周连仁^{2*}, 杨劲松¹

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 东北农业大学, 哈尔滨 150030)

摘要: 为建立一个低成本、易推广的苏打草甸碱土植被的快速重建模式, 在试验区内随机选取碱斑, 直接在碱斑上堆肥。结果表明: 灌水+堆肥与常规堆肥盐分调控的效果最好。堆肥浇水处理的出苗率显著高于未浇水处理, 秋季浇水与未浇水处理生物量没有差异。碱斑上经过人工植被建植后, 草甸碱土上植物群落已演替到羊草+盐碱植物群落阶段, 跨越了盐碱植物群落阶段。碱斑上直接进行常规堆肥是苏打草甸碱土植被重建的快速、经济模式。

关键词: 苏打草甸碱土; 堆肥; 盐分动态; 生物量; 植被重建

中图分类号: S156.4⁹

东北盐渍土总面积约 670 万 hm², 其中苏打盐渍土的面积约占 87%。目前, 对于这类较难改良的低产土壤, 经过多年来的研究, 证明在掌握土壤水盐、肥盐平衡及其调控的基础上, 采用水利土壤改良与增施有机质或使之自然恢复良好植被而增加有机质相结合的生物土壤改良即采取以水、肥为中心的综合改良措施, 逐渐培育淡化而深厚的熟化耕作层, 乃是切实可行的途径^[1]。

20 世纪 60 年代陈恩凤等^[2]进行了苏打盐渍土种稻改良试验, 获得了重要成果。试验对象以中度盐碱土为主, 个例涉及到加入石膏处理重度盐渍土, 尚未延伸到重度盐渍土与盐土、碱土的复合区。这项试验在 70 年代后中止。罗新正^[3]对重度盐渍土与盐土、碱土的复合区进行了种稻改良的研究。松嫩平原属于闭流区域, 干旱少雨、蒸降比高、淡水资源有限。利用种稻改良, 建立水利工程造价比较高, 而且这种措施一旦停止, 土壤含盐量还会恢复。目前, 苏打草甸碱土

(光碱斑) 仍是农业利用的“禁区”, 也是低成本、快速植被重建试验研究的空白环节, 至今在国内外未见系统研究的报道。

本试验根据在碱斑上堆肥后, 各处理调控盐分效果以及对牧草出苗率和生物量的影响, 确定苏打草甸碱土植被重建的快速、经济模式。

1 材料与方法

1.1 试验区土壤性质

试验于 2004 年 4 月 25 日开始, 在黑龙江省肇州县火车头村典型的苏打草甸碱土试验区内随机选取的碱斑上进行。其土壤理化性质见表 1。

在试验区内选择典型剖面, 分别以 0~7 cm、7~15 cm、15~50 cm、50~90 cm、90 cm 以下分层采样。采集的土样带回实验室自然风干、磨碎、过 2 mm 筛。测定土壤 pH 值、碱化度 (ESP)、土壤离子组成与全盐量。土壤 pH 值测定方法: 电位法。ESP: 乙酸铵-

表 1 供试土壤盐分离子组成
Table 1 Ion composition of salts in tested soils

深度 (cm)	pH	ESP (%)	全盐量 (g/kg)	盐分离子组成 (cmol/kg)							
				CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
0~7	10.40	69.8	10.08	7.73	3.80	2.00	6.13	0.30	1.48	18.61	0.04
7~15	10.10	50.0	7.11	1.80	3.30	1.66	8.08	0.30	0.49	9.10	0.39
15~50	9.80	47.3	8.86	1.60	2.93	1.04	16.92	0.70	12.99	5.82	0.51
50~90	9.70	45.5	6.46	2.40	4.08	2.08	4.29	0.90	8.22	4.22	0.71
90 以下	9.50	42.1	4.47	1.00	4.16	1.10	0.63	0.40	3.29	3.80	0.33

①基金项目: 黑龙江省科委项目 (GAO2CI2O104) 资助。

* 通讯作者

作者简介: 吴亚坤 (1979—), 女, 黑龙江人, 博士研究生, 主要从事土壤盐渍化管理及其防治的研究。E-mail:ykwu@mail.issas.ac.cn

氢氧化铵交换-火焰光度法, $ESP(\%) = [Na^+] \times 100/CEC$ 。土壤离子组成测定方法: HCO_3^- 、 CO_3^{2-} 用双指示剂滴定法测定; Cl^- 用 $AgNO_3$ 滴定法测定; SO_4^{2-} 用 EDTA 间接滴定法测定; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 用 EDTA 络合滴定法测定; K^+ 、 Na^+ 用火焰光度法测定^[4]。

1.2 试验区设计

试验处理: ①常规堆肥。将牧草平铺在碱斑上, 高 20 cm, 上面铺 10 cm 厚的鸡粪, 分两层堆积, 按秸秆干重的 1.8 倍加足水分, 力求使秸秆湿透, 确保发酵期需水, 用塑料薄膜盖上, 不要压实肥堆, 以利于通气; ②灌水 + 常规堆肥。堆肥前在碱斑上灌水, 在灌水后的碱斑上堆肥; ③常规堆肥 + 石膏。在堆肥腐熟后, 堆肥移走, 在碱斑上施入石膏; ④对照 (CK, 未处理)。各处理设 3 个重复, 面积依碱斑大小而定, 4 月 25 日开始试验, 7 月末播种牧草, 牧草品种为吉农朝鲜碱茅与碱草混播。

石膏施用量: $W(kg/hm^2) = 129 \times 15 \times A$ (A: 土壤交换性 Na 的含量)

7 月中旬堆肥腐熟后, 将大部分腐熟的堆肥从碱斑上移走, 只保留 3 cm 厚肥底, 利用耙子在碱斑上搂动 0~2 cm 深后, 构建适宜吉农朝鲜碱茅快速生长的生育条件。

播种密度为 $75 kg/hm^2$ 。灌水量: 灌水 3 cm。

每个小区用隔板分成两部分 (一半为浇水处理, 另一半为未浇水处理), 在播种时所有小区浇水 1 次。浇水处理, 出苗前每隔两天浇水 1 次。未浇水处理除播种时浇水 1 次外, 不进行任何水份处理。

1.3 分析项目与方法

田间盐分监测: 自 2004 年 4 月 25 日至 10 月 15 日, 每 10 天用便携式土壤盐分测定仪定位定时观测 1 次土壤电导率 (分 0~20 cm、20~40 cm 及 40~60 cm 3 层测定)。7 月 5 日因实验区下雨, 考虑到实验数据准确性, 未进行电导率测量。

田间生物量观测: 8 月 5 日对各小区出苗率调查 (目测法)。9 月 24 日, 每个小区选 3 个样方 ($0.5 m \times 0.5 m$), 齐地面剪割, 称鲜重, 风干后称干重。同时随机选取面积 $5.0 m \times 0.5 m$ 的样条, 将其均分 10 个 $0.5 m \times 0.5 m$ 的小样方, 重复 2 次, 共计 20 个, 调查样方的植物种类组成及其分盖度 (估测法)、植株高度 (随机选取 20 株) 等参数。

2 结果与讨论

2.1 堆肥对碱斑土壤盐分状况的影响

2.1.1 堆肥对碱斑土壤剖面盐分动态的影响 堆肥 3 个处理的盐分动态为“雨季脱盐型”(图 1 a、b、c):

各层土壤盐分 4 月末到 6 月初缓慢上升, 6 月初至 7 月中旬基本上稳定在最大阶段, 而在 7 月中旬至 8 月初逐渐下降, 随后有一个小幅度上升, 8 月末后一直下降。土壤剖面纵向之间, 基本上是 0~20 cm 土层盐分最高, 20~40 cm 土层盐分次之, 40~60 cm 土层盐分最低, 但各层土壤盐分含量的差距逐渐减小, 在 6 月末与 7 月末间几乎没有差别, 7 月末与 8 月末期间 0~20 cm 土层土壤盐分含量比其他两层还小。8 月末以后, 3 层土壤盐分没有明显的梯度。

对照 (CK) 的盐分动态为“降水积盐型”(图 1d): 4—6 月高水位期, 土壤积盐强烈; 7—8 月虽然地下水位下降, 但强烈蒸发造成土壤盐分向表层迁移、累积。

7 月中旬随着试验区内降雨量增加, 表现一个迅速淋盐的过程, 同时堆肥过程中产生的化学物质与各种微生物改变了土壤结构, 增加土壤通透性, 有利于保持土壤水分, 并利于盐分向下淋洗。8 月初牧草出苗, 增加了地表覆盖, 并且植物根系产生的化学物质对土壤盐分淋洗起到重要作用。

2.1.2 堆肥对碱斑土壤盐分淋洗情况的影响 土壤表层是作物根系分布生长的重要区域, 土壤表层盐分含量及其动态变化将对作物的生长产生重要影响。土壤水溶盐是强电解质, 其水溶液具有导电作用。导电能力的强弱, 可用电导率表示。在一定浓度范围内, 溶液的含盐量与电导率呈正相关: 含盐量愈高, 溶液的渗透压愈大, 电导率愈大^[5]。

对各处理 8 月初 0~20 cm 土层土壤的盐分进行了统计分析 (表 2), 结果表明堆肥的 3 个处理土壤盐分极显著地小于 CK, 并以灌水 + 堆肥与常规堆肥盐分淋洗效果最好。

表 2 各处理 0~20 cm 土层土壤电导率
Table 2 Effect of composting on electric conductivity
in 0~20 cm soil layer

处理	电导率 (mS/cm)	多重比较	
		$p \leq 0.05$	$p \leq 0.01$
CK	2.88	A	a
堆肥 + 石膏	2.69	B	b
常规堆肥	2.05	C	c
灌水 + 堆肥	2.02	C	c

注: 多重比较字母不同表示有显著性差异, 下同。

2.2 堆肥对碱斑土壤牧草出苗率和生物量的影响

2.2.1 堆肥对碱斑土壤牧草出苗率影响 浇水处理牧草出苗率统计分析结果表明 (表 3): 堆肥的 3 个处理极显著地优于 CK, 并且堆肥 + 石膏处理的出苗率最高, 极显著地优于其他两个堆肥处理。堆肥提高

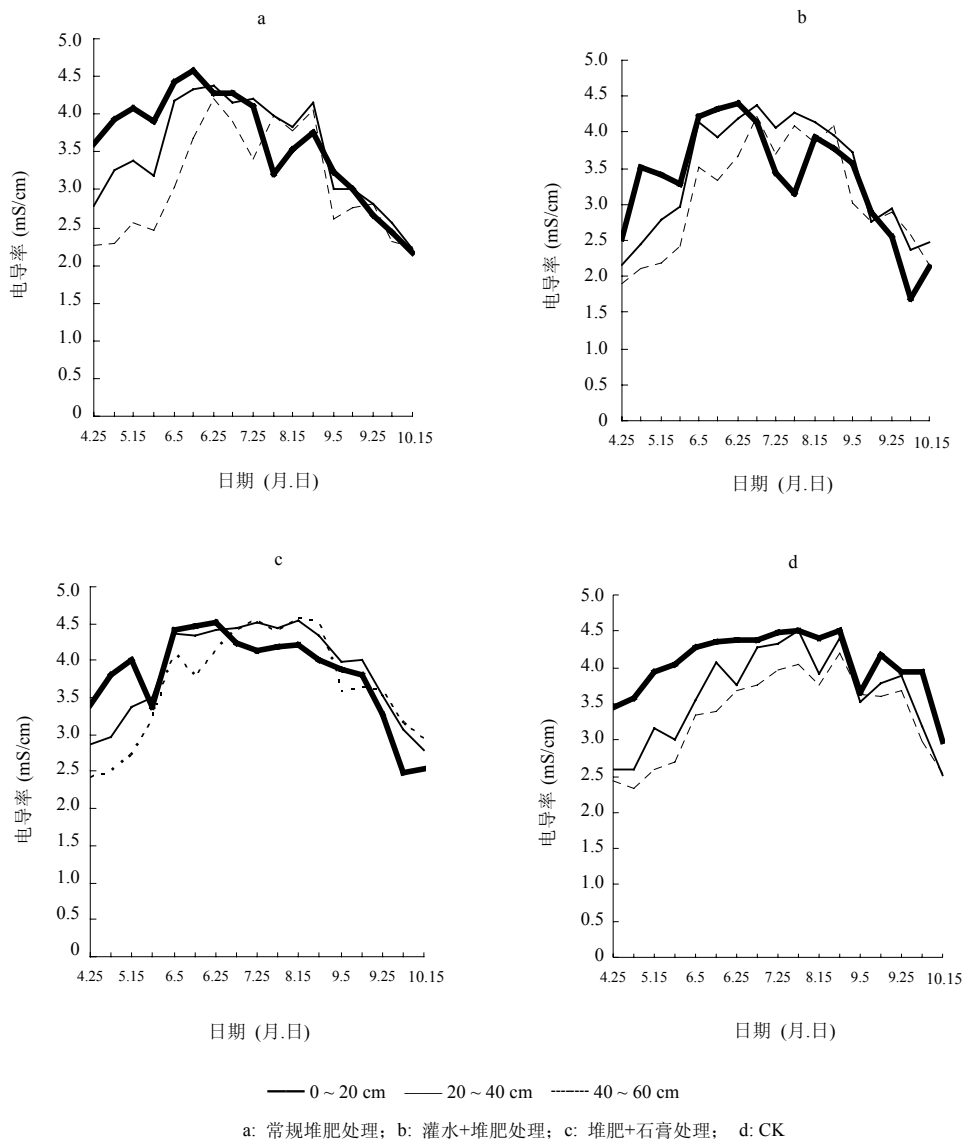


图 1 堆肥处理对剖面土壤电导率的影响

Fig. 1 Effect of composting on electric conductivity in soil profile

表 3 各处理牧草出苗率及多重比较

Table 3 Comparison in emergence rate and multi-factor comparison between treatments

浇水处理	出苗率 (%)	多重比较		未浇水处理	出苗率 (%)	多重比较	
		$p \leq 0.05$	$p \leq 0.01$			$p \leq 0.05$	$p \leq 0.01$
堆肥 + 石膏	85	A	a	堆肥 + 石膏	65	A	a
常规堆肥	80	B	b	常规堆肥	65	A	a
灌水 + 堆肥	80	B	b	灌水 + 堆肥	60	B	b
CK	0	C	c	CK	0	C	c

土壤的有机物质含量，即增加了土壤腐殖物质，也提高了土壤保肥和供肥能力^[6]。腐殖物质在土壤中以胶膜形式包被在矿质土粒的外表，能促进团粒结构的形成，改善土壤的透水性、蓄水性及通气性。腐殖物质

的深色使土壤吸热升温快，有利于牧草的早发速长。腐殖物质的功能团能增强土壤的缓冲性，还在一定浓度范围内对植物生长有促进作用^[7]。堆肥中的牧草秸秆可丰富土壤有机质和 N、P、K 等养分，降低了土壤 pH 值，改善了土壤的物理性状，抑制了地面水分的蒸发，有效地保持土壤水分，从而促进了土壤脱盐，抑制了盐分向地表的积聚，既改良了盐渍土，又促进牧草出苗^[8]。

未浇水处理和堆肥处理出苗率极显著地优于 CK，可能是因为有机质黏结的团聚体疏松多孔，水稳性很高，吸水而不散开，也不瓦解为细土粒，空气和水分能同时被容纳在有机质的团粒内部和团粒之间。同时，有机质对土壤渗透度的影响和持水性有密切的关系。增加土壤有机质含量，可增强土壤保水力、毛管持水

量，而降低蒸发量。因此，堆肥后，提高有机质含量易于协调土壤“三相”（固相、液相和气相）比例，从而能促进土壤养分转化，有利于植物根系伸展和对养分的吸收，提高土壤有效水分含量，增强植物抗旱能力，还可加速土壤脱盐，抑制返盐，起到改良土壤、培肥土壤的良好效果。

从出苗率可以看出，碱斑上直接堆肥，即使在不浇水的情况下也保证了牧草出苗率，不浇水的小区牧草出苗率已达到 60% 以上，可覆盖住大部分碱斑，减少棵间水分蒸发。牧草旱时生根，当接受天然降雨后，地上部分可迅速生长，到秋季浇水与不浇水的小区生物量已没有显著差异（表 4）。堆肥后在小区上直接播种牧草，播种时浇水 1 次后，既能保证出苗，又降低了成本，是碱斑上牧草种植的最经济有效的方法。

表 4 各处理牧草生物产量及多重比较
Table 4 Comparison in biomass and multi-factor comparison between treatments

处理	高度 (cm)	覆盖度 (%)		鲜草重量 (g/m ²)	鲜草重量多重比较		干草重量 (g/m ²)	干草重量多重比较	
		浇水	未浇水		p≤0.05	p≤0.01		p≤0.05	p≤0.01
常规堆肥	31.0	95 a	93 a	473.3	A	a	279.6	A	a
灌水 + 堆肥	29.0	94 ab	92 a	390.0	B	b	209.1	B	b
堆肥 + 石膏	30.0	90 b	88 b	316.7	C	c	148.5	C	c

2.2.2 堆肥对碱斑牧草生物量的影响 9 月 25 日对各处理的牧草生物量及覆盖度进行了测量（表 4），CK 各小区牧草均未发芽，以常规堆肥生物量最高，灌水 + 堆肥次之，堆肥 + 石膏最低。可见，堆肥后施用石膏，堆肥前灌水对于草甸碱土当年生物量影响不是很大。虽然施入石膏后，土壤内的盐分含量降低，保证了堆肥 + 石膏的出苗率最高，但从 9 月 25 日生物量可以看出，堆肥后施入石膏未增加牧草产量。

小区内，除建植的朝鲜碱茅与碱草外，碱斑内还侵入碱蓬、虎尾草、芎等植被，堆肥处理基本上都覆盖上植被，植物群落的顺向演替速度明显加快。盐渍化草地植被演替的规律，因碱化程度不同、群落类型不同及土壤条件和微地形的差异，试验区植被演替主要有以下几种演替形式：

- (1) 碱蓬群落→虎尾草群落→羊草 + 虎尾草群落→羊草群落；
- (2) 碱蓬群落→碱茅群落→羊草 + 碱茅群落→羊草群落；
- (3) 羊草群落的自身扩展过程。

在盐渍化草地植被自然恢复过程中，群落演替可划分为 3 个主要阶段：①盐碱植物群落阶段；②羊草 +

盐碱植物群落阶段；③羊草群落阶段。无论是那种演替类型，最终要恢复羊草草原的本来面目，形成以羊草占优势的稳定群落。

在碱斑上堆肥，经过植被建植后，草甸碱土上植物群落已演替到羊草 + 盐碱植物群落阶段，跨越了盐碱植物群落阶段，加快了苏打草甸碱土上植被顺向演替速度。

根据对不同处理土壤盐分动态及植物生物量变化的研究，形成了试验区内植被快速重建模式。首先对试验区内中、轻度盐渍土进行植被重建，在其生物量得到提高与植物群落的顺向演替速度加快基础上，利用前一年试验地内的牧草，在碱斑上直接堆肥，堆肥腐熟后移走，利用肥底，在碱斑的表层上播种牧草，在当年秋季即可达到一定生物量。这种模式见效快、操作简单、投资少，缓解该地区水资源短缺的问题，并且充分利用农村畜禽粪便，将其碱斑上堆肥化处理，减少了对农村居住环境的污染，易于推广。

3 结论

- (1) 统计结果表明，堆肥的 3 个处理盐分淋洗效果极显著地优于 CK，并以灌水 + 堆肥与常规堆肥盐分

调控的效果最好。

(2) 堆肥浇水处理的出苗率显著高于未浇水处理,秋季生物量浇水与未浇水处理没有差异。

(3) 碱斑上经过人工植被建植后,草甸碱土上植物群落已演替到羊草+盐碱植物群落阶段,跨越了盐碱植物群落阶段。

(4) 碱斑上直接进行常规堆肥是苏打草甸碱土植被重建的快速、经济的创新模式。

参考文献:

- [1] 王春裕, 武志杰, 王汝镛, 张素君, 张岫岚, 龙显助. 黑龙江省三江平原的苏打盐渍土. 土壤通报, 2001, 32(1): 23-25
- [2] 陈恩凤, 王汝镛. 有机质改良盐碱土的作用. 土壤通报, 1984, 15(5): 193-196
- [3] 罗新正, 孙广友. 松嫩平原含盐碱斑的重度盐化草甸土种稻脱盐过程. 生态环境, 2004, 13(1): 47-50
- [4] 鲁如坤主编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [5] 刘春卿, 杨劲松, 陈德明. 管理调控措施对土壤盐分分布和作物体内盐分离子吸收的作用. 土壤学报, 2004, 41(2): 230-236
- [6] Bhattia, Khan Q, Gurmani AH, Khan MJ. Effect of organic manure and chemical amendments on soil properties and crop yield on a salt affected Entisol. Pedosphere, 2005, 15(1): 46-51
- [7] 牛灵安, 郝晋珉, 李吉进. 盐渍土熟化过程中腐殖质特性的研究. 土壤学报, 2001, 38(1): 114-122
- [8] 吕彪, 秦嘉海, 赵芸晨. 麦秸覆盖对盐渍土肥力及作物产量的影响. 土壤, 2005, 37(1): 52-55

Effect of Composting on Rehabilitation of Vegetation in Soda Meadow Alkaline Soils

WU Ya-kun^{1,2}, ZHOU Lian-ren², YANG Jing-song¹

(1 Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China; 2 Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to establish a low-cost and easy-to-extend mode of rapid vegetation rehabilitation, alkali spots were selected at random as composting sites in the experiment zone of soda meadow alkaline soil in Huo Chetou Village, Zhaozhou County, Heilongjiang Province. Composting was done directly on the alkali spots. Results showed that conventional composting and irrigated composting was better than others in controlling soil salt content. The treatment of irrigated composting was obviously higher than other treatments in seedling emergence rate, but did not differ much from the latter in biomass of plants in fall. After artificial vegetation rehabilitation, the plant community on the alkali spots already skipped over the stage of community of halophytic plants to the stage of community of *Aneurolepidium chinense* plus halophytic plants. To do conventional composting on alkali spots is an economical code of rapid vegetation rehabilitation in soda meadow alkaline soils.

Key words: Soda meadow alkaline soils, Compost, Salt dynamic, Biomass, Vegetation rehabilitation