

- 宁夏大学优秀学术著作出版基金资助
- 宁夏大学草学一流学科建设项目资助



黄土高原封育草地 深层土壤碳氮动态

李建平 张 昊◎著



黄河出版传媒集团
宁夏人民出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

黄土高原封育草地深层土壤碳氮动态 / 李建平, 张昊著. -- 银川: 宁夏人民出版社, 2021.5
ISBN 978-7-227-07465-6

I. ①黄… II. ①李… ②张… III. ①黄土高原-草原土-碳氮比-研究-宁夏 IV. ①S153.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 098324 号

黄土高原封育草地深层土壤碳氮动态

李建平 张昊 著

责任编辑 杨敏媛
责任校对 陈晶
封面设计 沈家菡
责任印制 马丽



黄河出版传媒集团
宁夏人民出版社

出版发行

出版人 薛文斌
地址 宁夏银川市北京东路 139 号出版大厦 (750001)
网址 <http://www.yrpubm.com>
网上书店 <http://www.hh-book.com>
电子信箱 nxrmcbs@126.com
邮购电话 0951-5052104 5052106
经销 全国新华书店
印刷装订 宁夏银报智能印刷科技有限公司
印刷委托书号 (宁) 0020724

开本 787 mm × 1092 mm 1/16
印张 9.5
字数 150 千字
版次 2021 年 6 月第 1 版
印次 2021 年 6 月第 1 次印刷
书号 ISBN 978-7-227-07465-6
定价 38.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

人类活动导致的碳、氮排放和生态失衡被认为是引起全球变暖的主要原因。全球表层土壤（0 ~ 100 cm）中大约储藏了 1550 Pg 的有机碳，是大气碳库的 2 倍，超过了植被和大气有机碳之和，为陆地生物碳库的 2 ~ 4 倍，是陆地生态系统最大的碳库。土壤有机碳库很小的变动，也可能对大气二氧化碳浓度及碳平衡产生重要影响。所以，土壤中碳、氮的封存或流失，直接影响到其他重要的生物地球化学循环，乃至全球环境变化。

草地植被在区域和全球气候变化与水循环中扮演着重要的角色。黄土高原作为我国水土流失最为严重的区域，也是我国退耕还林（草）工程实施的重点区域。黄土高原草地植被恢复和重建是黄土高原综合治理的最主要的措施，大规模的退耕还林（草）工程的实施，使得黄土高原植被盖度从 1999 年的 31.6% 提高到 2013 年的 59.6%，明显增加了径流拦蓄效益，使得径流量减少，有效遏制了黄土高原的水土流失，显著提高了区域生态系统服务功能。但是，退耕还林（草）工程实施后草地碳、氮储量评估尚缺少研究，尤其是对于深层土壤碳、氮信息尚未见报道。

2014 年以来在中国博士后面基金（2015M580896）、宁夏大学草学一流学科建设项目（NXYLXK2017A01）和自治区重点研发计划项目

(2020BEG03046)的支持下,以空间代替时间的方法,系统研究了宁夏固原云雾山典型草原及主要灌木(柠条)封育0~30年后深层(0~500 cm)土壤碳、氮固持动态,探明了不同封育年限深层土壤有机碳(SOC)、全氮(TN)固持量,明确了土壤SOC、TN的积累速率、土壤粒径组成、土壤有机碳和全氮稳定性及碳、氮之间的协同机制,揭示了封育草地植被恢复过程中深层土壤SOC、TN收支动态及形成机理,为全面评估黄土高原半干旱区草地土壤固碳、氮潜力与效应提供科学依据,弥补深层土壤SOC、TN垂直积累动态的知识空缺。

本项工作得到中科院水利部水土保持研究所、固原市原州区草原管理站、宁夏气象局专家的支持和帮助。在此,谨向所有关心、支持、帮助、资助本项工作及本书出版的单位表示诚挚的谢意。

目 录 CONTENTS

1 绪 论	
1.1 研究背景	001
1.2 国内外研究进展	003
1.3 典型草原的分布	006
1.4 典型草原存在的主要问题	012
1.5 黄土高原草原现状	015
2 研究区概况、研究内容及研究方法	
2.1 研究区概况	019
2.2 研究目标及内容	021
2.3 研究方法	022
3 长期封育对草地深层土壤碳氮储量的影响	
3.1 土壤有机碳和土壤全氮含量	031
3.2 土壤有机碳储量	035
3.3 土壤有机碳和土壤全氮储量累积百分率	037
3.4 土壤碳氮垂直积累动态	038
3.5 小 结.....	039

4	封育序列对土壤碳氮储量及其固持速率的影响	
4.1	封育时序下土壤有机碳储量	040
4.2	封育时序下土壤全氮储量	043
4.3	封育时序下土壤碳氮固持速率	047
4.4	封育时序下土壤碳氮比	049
4.5	小 结	051
5	封育草地与弃耕地土壤碳氮固持及固持速率	
5.1	封育草地与弃耕地土壤有机碳储量特征	053
5.2	封育草地与弃耕地土壤全氮储量	055
5.3	土壤有机碳与土壤全氮固持及固持速率	057
5.4	小 结	060
6	封育序列草地（柠条地）深层土壤水分变化特征	
6.1	不同土地利用方式下深层土壤水分含量	062
6.2	土壤干燥化垂直分布	063
6.3	不同土地利用方式下土壤水分特征	067
6.4	不同土地利用方式下土壤水分变异系数	069
6.5	小 结	073
7	封育序列对深层土壤团聚体的影响	
7.1	不同土层土壤团聚体特征	074
7.2	土壤团聚体 MWD 与 GMD 的变化	079
7.3	土壤团聚体 R0.25 值的变化	081

7.4 小结	082
8 封育对黄土高原草地深层土壤 pH 值的影响	
8.1 不同封育年限草地土壤 pH 值垂直变化特征	084
8.2 不同封育年限草地各粒级土壤 pH 值变化特征	086
8.3 不同封育年限土壤 pH 值	090
8.4 小结	091
9 长期封育对草地深层土壤粒径的影响	
9.1 封育 30 年草地和放牧草地土壤粒径分布	092
9.2 封育 30 年草地和放牧草地土壤粒径分形维数特征	096
9.3 小结	099
10 封育序列对草地深层土壤全碳的影响	
10.1 土壤容重、含水量和 pH 值	102
10.2 土壤有机碳和无机碳	105
10.3 土壤有机碳和无机碳的碳储比	109
10.4 小结	111
11 封育与放牧对草地表层土壤化学计量特征的影响	
11.1 封育草地与放牧草地土壤物理特性	114
11.2 土壤水稳定性团聚体分布特征及评价参数	118
11.3 土壤碳氮磷含量变化	120
11.4 土壤碳氮磷化学计量比变化	123

11.5	土壤碳氮磷化学计量特征与土壤理化因子相关性分析	124
11.6	小 结	126
12	封育草地和放牧草地土壤性质对碳储量的影响	
12.1	封育草地和放牧草地土壤性质的变化	128
12.2	封育草地和放牧草地植物生物量和土壤碳储量的变化	131
12.3	土壤碳储量和呼吸速率的影响因子	133
12.4	小 结	138
	参考文献	139

1 绪 论

1.1 研究背景

以温暖化为主要特征的气候变化问题影响着人类的生存和发展。人类活动导致的碳氮排放和生态失衡被认为是引起全球变暖的主要原因 (Fang *et al.*, 2011; Batjes, 2014)。全球表层土壤 (0 ~ 100 cm) 中大约储藏了 1550 Pg 的有机碳, 是大气碳库的 2 倍, 超过了植被和大气有机碳之和, 为陆地生物碳库的 2 ~ 4 倍, 是陆地生态系统最大的碳库 (Lal, 2008)。与土壤碳库的大量研究相比, 对土壤氮库, 特别是土壤剖面氮储量的研究相对较少, Batjes 得出全球 0 ~ 100 cm 土层土壤氮储量为 133 ~ 140 Pg, 碳氮比值从荒漠土的 9.9 到腐殖土的 25.8 不等 (2014)。我国土壤全氮储量为 8.29 Pg, 占世界的 5.9% ~ 6.2%, 不同地区、不同土壤类型间变异较大 (张春娜, 2004), Roley 等人 (2012) 通过研究指出: 人类活动已经使地球上活性氮含量增加了 1 倍, 使氮污染变得越来越严重, 如何固定活性氮是生态学关注的一个热点问题。另外, 氮是天然生态系统中最重要组成成分和重要的生态影响因子, 是实现植物初级生产力的主要因素, 土壤中氮的主要来源有径流输入、大气沉降和

生物固氮 (Roley *et al.*, 2012; 周念清等, 2014), 在自然界氮素循环过程中, 硝化反硝化作用过程的产物 (例如 NO_2^- 、 NO_3^- 、 N_2O 等氮氧化物), 既是土壤中氮素损失的主要途径之一, 又可污染水—土体系并破坏大气层。天然草地演替过程中所有元素的生物地球化学循环都紧密相连, 氮可以通过影响植物体中碳的变化从而影响生态系统中碳的分布, 氮循环发生变化可能会导致其他元素循环也发生变化, 如 C 循环和 P 循环 (Canfield *et al.*, 2010)。所以土壤是氮源也是氮库, 土壤中氮循环的不平衡将影响到其他重要的生物地球化学循环, 乃至全球环境变化。

草地是世界上分布最广的植被类型之一, 也是目前受人类活动影响最为严重的区域, 作为陆地生态系统的重要组成部分, 占全球陆地面积的 26%, 参与了全球碳氮源/汇及其循环过程, 在区域和全球气候变化及碳氮循环中扮演着重要的角色 (Asner, 2004; Conant, 2009; 程积民等, 2012)。另外, 草地 90% 的碳和氮贮存在土壤中, 土壤有机碳、全氮含量与分布对地表覆盖变化、大气组成及气候变化有着重要的影响。黄土高原作为中国水土流失最为严重的区域, 也是我国三北防护林、退耕还林(草)的重点区域, 拥有草地面积 $23.2 \times 10^4 \text{ km}^2$, 是主要的生态屏障和畜牧生产基地。由于长期人为活动的干扰和气候条件的限制, 黄土高原草地生态系统已遭到严重破坏, 草地退化与碳氮库流失严重 (程积民等, 2012)。研究发现, 围栏封育是我国恢复退化草地结构和功能最普遍的途径 (Wu *et al.*, 2009; Wu *et al.*, 2010), 如果停止人为干扰, 进行一定时间的自然封育, 退化草地能够自我恢复, 提高土壤有机质含量 (Li *et al.*, 2009), 同时还能够增加退化草地的生物多样性、群落的结构功能和碳氮储量 (Deng *et al.*, 2014)。也有研究认为封育显著增加表层土壤有机碳储量 (Su *et al.*, 2005; Wu *et al.*, 2010)、改善土

壤微生物结构和土壤酶活性,以提高土壤活性氮含量 (Su *et al.*, 2004)、改善土壤碳氮循环 (Stark *et al.*, 2000)、增加土壤表层碳氮储量 (Zhou *et al.*, 2011) 等。但是,这些研究多集中在退化草地封育后表层土壤 (0 ~ 30 cm 或 0 ~ 100 cm) 理化性质动态,忽视了深层土壤碳氮动态及积累特征;侧重于大尺度空间碳氮储量研究,忽视了土壤特性垂直动态;关注表层土壤结构,忽视深层土壤团粒动态,从而严重阻碍了我们对退化草地封育后土壤碳、氮积累速率及新增碳、氮去向的深刻认识。

课题组在 2014 年对固原封育 (> 30 年) 天然长芒草草地深层土壤 (0 ~ 500 cm) 进行了研究,发现 0 ~ 30 cm 土壤中有有机碳 (SOC) 和全氮 (TN) 分别占到土壤 (0 ~ 500 cm) 总 SOC 和 TN 储量的 14.01% 和 8.5%, 0 ~ 100 cm 土壤中 SOC 和 TN 储量分别占到土壤 (0 ~ 500 cm) 总 SOC 和 TN 储量的 44.8% 和 27.2%。深层 (100 ~ 500 cm) 土壤具有很大的碳氮储量,所以大量碳氮储量动态及积累信息被遗漏,将会减小对草地土壤碳氮储量的评估。

因此,本书主要针对退化草地封育后深层 (0 ~ 500 cm) 土壤碳氮动态变化,研究不同封育年限 (0 年即过度放牧、10 年、20 年、30 年) 土壤 SOC、TN 动态及形成机理,为揭示封育草地植被恢复过程中土壤碳氮循环及生态评估提供基础数据和理论依据。

1.2 国内外研究进展

土地利用变化是引起陆地生态系统碳储量变化的重要原因,植被恢复重建被认为是增加陆地生态系统碳储量、减缓全球温室气体效应的有效措施 (IPCC, 2007)。封育,就是将某个生态区域封闭,禁止人类活

动的干扰,是目前脆弱生态系统恢复最为有效的举措之一。大量研究表明,封育措施能够提高天然草地生产力,改善土壤物理结构,促进土壤有机碳氮的恢复和积累 (Steffens *et al.*, 2008; Tanentzap and Coomes, 2011; Deng *et al.*, 2014),很大程度上增加了对土地利用变化和土壤碳循环关系的认识 (陈广生和田汉勤, 2007; Friedlingstein *et al.*, 2010)。封育可增加退化草地群落的盖度、高度、植物多样性、生产力和枯落物累积,增加禾草类比例,减少根茎比,同时显著改善土壤容重、土壤水分和 pH 值;长期围封显著增加了 SOC、TN、C/P、N/P、C/N 和 0 ~ 100 cm 土壤碳储量 (邓蕾, 2014; Deng *et al.*, 2014);围封后,土壤碳氮增量主要发生在 30 ~ 100 cm,受植被初级生产力和土壤养分共同影响 (邓蕾, 2014),对草地进行长期围封禁牧可显著提高土壤碳储量 (Jing *et al.*, 2014),随着植被恢复,土壤碳氮储量不断增加,恢复 30 年后,深层土壤 (> 30 cm) 碳氮储量可恢复到弃耕前水平 (邓蕾, 2014)。另外, Zhang 等 (2010) 研究表明全国范围内上层 20 cm 土壤碳储量的平均累积速率为 $36.67 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{yr})$ [$0.37 \text{ Mg}/(\text{ha} \cdot \text{yr})$]; Chang 等 (2011) 研究表明黄土高原地区 0 ~ 20 cm 土壤 SOC 平均固碳量为 $0.712 \text{ Tg} \cdot \text{yr}^{-1}$,该固碳可以持续近 60 年; Feng 等 (2013) 研究表明自 2000 年到 2008 年,黄土高原地区 0 ~ 20 cm 土壤固碳量从 2.64 Pg 增加到 2.68 Pg,平均固碳速率为 $8.5 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{yr})$ [$0.085 \text{ Mg}/(\text{ha} \cdot \text{yr})$]; Deng 等 (2014) 研究表明,在黄土高原地区开展退耕还林(草)工程后,土壤表层(0 ~ 100 cm)的固碳潜力为 $0.59 \text{ Tg} \cdot \text{yr}^{-1}$,平均固碳率为 $0.29 \text{ Mg}/(\text{ha} \cdot \text{yr})$ 。虽然这些研究阐明了封育后土壤碳氮固持及速率,但是仍然存在一些不足:对草地封育后深层土壤碳氮特征动态缺乏了解;多数文章以方差分析模型判定土壤碳氮特征在时间和空间上的差异,忽视了土壤时间和空间上的自相

关性。

草地生态系统在全球碳氮循环中发挥着重要的作用 (Eaton *et al.*, 2008; Brown *et al.*, 2010)。土壤有机质和全氮含量及其动态平衡是反映土壤质量和草地健康的重要指标, 直接影响着草地土壤肥力和草地生产力 (Davidson *et al.*, 2000; 闫瑞瑞等, 2004)。草地生态系统中, 碳氮循环密切相关, 它们在相互作用和相互影响的过程中发生着复杂的变化, 因此草地碳氮循环耦合特征以及对气候变化和人类扰动响应特征是未来草地碳氮循环研究的趋势 (Luo *et al.*, 2006; Zhang *et al.*, 2009)。研究表明, 在黄土高原植被恢复的过程中 (30 年), 土壤 (0 ~ 100 cm) SOC 与 TN 之间以及土壤碳氮储量之间的关系近似表达为 $SOC=10TN$ (邓蕾, 2014), 而 Liu 等 (2010) 的研究结果为 $C/N=7.62$, 铵态氮和硝态氮是根系吸收有效氮的主要形式。Liu 等 (2010) 研究表明草地土壤中铵态氮和硝态氮的含量低于农田, 因为弃耕还草增加了 C/N, 通过土壤固氮作用减少了土壤中的无机氮。较好的草地条件应该是碳氮的输入大于输出或者碳氮的输入与输出达到平衡 (Wu *et al.*, 2010), 李玉强等 (2006) 研究表明草地生态系统中碳的输入大于输出。0 ~ 100 cm 土层土壤碳氮储量呈先减少 (封育 < 20 年) 后增加 (封育 30 年) 的趋势 (邓蕾, 2014; 井赵斌, 2014)。对于草地封育后土壤深层碳氮的研究关注极少, 但对于森林封育后深层土壤碳氮动态有报道, 如 Li 等 (2013) 在黄土高原纸坊沟流域的研究也发现植被恢复后, 深层土壤 SOC 密度显著高于农田, 研究表明全球尺度上, 随着造林时间的增加, 深层土壤 (矿物层) 与上层土壤 (有机层) 碳氮储量之间存在显著差异性 (Li *et al.*, 2012)。前人对于草地封育土壤碳、全氮储量的研究仅仅关注上层土壤 (0 ~ 100 cm), 而对深层土壤关注较少, 草地和森林深层土壤碳

氮动态和 C/N 比例是否一致还需要进一步验证。因此, 评估土壤碳氮是源还是汇以及碳氮合理比例结构时, 不仅要考虑植被恢复的时间, 还得考虑土壤深度。

本书主要以黄土高原半干旱区宁夏固原云雾山草原为主要研究对象, 紧扣天然草地封育过程中深层土壤碳氮储量动态这一科学问题, 基于不同时期封育草地空间信息代替草地时间演替序列, 通过野外调查和实验室分析相结合的方法, 利用线性混合模型(如果样本间不存在空间效应, 且数据相互独立, 其等同于方差分析模型)分析时间尺度和空间尺度上各项指标间的差异性, 进而研究封育草地(0 ~ 500 cm)深度土壤特性: 不同封育年限(过度放牧即 0 年、10 年、20 年、30 年)土壤 SOC、TN 储量及其垂直分布动态; 定量描述土壤 SOC、TN 积累速率及新增碳、氮的去向, 探讨碳、氮协变关系; 结合土壤团粒结构, 揭示封育草地植被恢复过程中土壤 SOC、TN 收支动态及形成机理。该项工作将对黄土高原半干旱区草地土壤固碳、氮潜力与效应评价及碳、氮垂直积累动态的认知提供科学依据。

1.3 典型草原的分布

草地生态系统是全球陆地生态系统的重要组成部分(王举凤等, 2020), 在全球分布广泛, 占全球陆地面积的 30% ~ 40%。草地生态系统因其较大的植被覆盖度、较短的植物生长周期而具有巨大的生态潜力, 在对全球碳循环、气候变化、保持水土、涵养水源、改良土壤结构、防止土壤侵蚀、防治风沙、净化空气、保护生物多样性等一系列问题上发挥着重要的作用。

在半干旱气候区,以早生的多年丛生禾草占优势的草原植被称为典型草原,又称干草原,这里具有典型的半干旱向干旱过渡的大陆性气候特征,冬季寒冷干燥,夏季温暖湿润,年降水量在 250 ~ 350 mm,是全球气候(降水和温度)变化幅度较大的地区。典型草原多处于草甸草原与荒漠草原之间,草群下发育了土层深厚的栗钙土和栗褐土,主要优势物种包括:克氏针茅(*Stipa krylovii*)、大针茅(*Stipa grandis*)、羊草(*Leymus chinensis*)、糙隐子草(*Cleistogenes squarrosa*)、冷蒿(*Artemisia frigida*)、长芒草(*S.bungeana*)、冰草(*Agropyron cristatum, A.desertorum*)等早生和广旱生多年生丛生禾草(周舆等, 2020),而在某些条件下可由灌木与小半灌木组成,草群中缺少中生性杂类草(吴征镒, 1980)。典型草原上常见的草食动物有黄羊、高鼻羚羊以及黄鼠、鼠兔、旱獭等。目前,典型草原地带除局部开垦为农田外,大半保持自然状态,为畜牧业的主要基地(吕世海, 2016)。

1.3.1 世界典型草原的分布

全球草原按照分布的地理位置以及草原的组成,大致分为热带草原和温带草原。根据水热组合差异,温带草原可以划分为不同的草原类型:草甸草原、典型草原和荒漠化草原。典型草原分布于南北半球的中纬度地带,森林草原带的外围更偏向内陆地段,主要包括北半球的欧亚草原、北美洲的普列里(Prairie)草原、南美洲的潘帕斯(Pampas)草原。

欧亚草原(steppe)也称斯太普草原,从多瑙河河口自西向东延伸,穿越东欧平原的南部、西西伯利亚平原、哈萨克丘陵、蒙古高原,直至我国大兴安岭以东辽河流域,几乎到了黄海边缘,全长 8000 多千米,东西跨越 100 个经度(28°E ~ 128°E);其最北端可达 56°N,一

直往南延伸到我国青藏高原南部 28°N 的高寒草甸地区。跨越万里的欧亚草原分布着各种各样的草地类型，典型草原是该区域内分布最为广泛的草地类型，这是因为亚欧大陆内部属大陆性气候，年降水量在 250 ~ 400 mm，使之虽无法孕育出对湿度要求更高的森林生态系统，但也不至于转变成为荒漠草地类型。在地理划分上，阿尔泰山以东，以蒙古高原为核心的草原地带被称为东干草原；而阿尔泰山以西，哈萨克丘陵北部、东欧平原南部为核心的典型草原地带被称为西干草原。由于水分条件的差异，不同地区典型草原的植物成分也有所不同。东欧平原较为湿润，典型草原与森林草原交错分布，较为干旱的草甸草原主要由针茅 (*Stipa Capitata*)、列兴针茅 (*S. lessingiana*)、红针茅 (*S. rebens*) 和沟叶羊茅 (*Festuca sulcata*)；东欧草原向东延伸进入亚洲，大陆性气候特征更为显著，哈萨克丘陵地区典型草原植物的主要成分是列兴针茅 (*S. lessingiana*)、针茅 (*Stipa Capitata*)、假羊茅 (*Festuca Pseudovine*) 及一些杂类草。亚洲草原再向东进入蒙古和中国境内，由于东亚季风的影响，植物成分较其他地区也有很大的变化，典型草原的主要成分变为贝加尔针茅 (*Stipa baicalensis*)、大针茅 (*Stipa grandis*)、克氏针茅 (*Stipa krylovii*)、长芒草 (*Stipa bungeana*)、短花针茅 (*Stipa breviflora*)、羊草 (*Leymus chinensis*) 和白羊草 (*Bothriochloa ischcemum*) (胡自治, 1997)。

北美草原也称普列里草原，位于 30°N ~ 60°N，89°W ~ 107°W 的广大温带平原地区，是世界上面积最大的禾草草地。它从加拿大南部起，纵贯美国中西部，直到墨西哥中部与当地热带稀树草原相接；横向则东起美国伊利诺伊州西部和俄克拉荷马州落叶林西缘，西至落矶山脉，东西宽 800 km，南北长 3200 km，总面积 130 万 km²，自然条件与欧亚草

原极为相似，但情况更为复杂。从东到西随着干燥度的增加，可将北美大草原分为高草普列里草原、混合普列里草原和矮草普列里草原，并且北美大草原从北向南植物种群有梯度变化，即从北方占优势的针茅 (*Stipa capilata*) 转变为南方占优势的须芒草 (*Andropogon yunnanensis*)。矮草普列里草原相当于欧亚草原的典型草原，其最主要的植物分布为细叶格兰马草 (*Bouteloua gracilis*) 和指状珠茅 (*Bulbilis dactyloides*) (胡自治, 1997)。

潘帕斯草原又称南美草原或者阿根廷草原，主要分布在南美洲，集中于拉普拉塔平原的南部，包括乌拉圭、阿根廷东部、巴西南部等地区，面积约 76 万 km²，是世界上最大的温带草原之一。该草原是亚热带、温带湿润气候下的高草草原，气候以亚热带季风性湿润气候为主，年均降水量约 940.6 mm，年均温约为 13.8℃，最热月在 1 月，平均温度约为 20℃；最冷月在 7 月，平均温度约为 7.3℃，冬季温和，夏季温暖，适宜植被的生长。植被主要由高草组成，旱生禾草植物在植被群落中占优势，主要植被类型有针茅属 (*Sti-pa*)、三芒草属 (*Aristida*) 等禾本科植物。按照水热组成状况，以 500 mm 降水线为界，将其西部划分为“干潘帕斯”，该区域为气候温和的半干旱地区，发育栗钙土、棕钙土，多盐沼；将其东部划分为“湿潘帕斯”，土壤为黑土。该草原由于优良气候以及地势条件，草场面积广大，牧草鲜美，土壤肥沃，地广人稀，土地租金低，为大牧场放牧业提供可能。现在潘帕斯大部分草原已开垦成农田和牧场，是阿根廷农牧业的主要产区。

1.3.2 中国典型草原的分布

中国位于欧亚大陆的东部。我国草原是欧亚草原的重要组成部分，