

地膜覆盖对农田 N_2O 排放影响的研究现状

李晓莎^{1,2} 岳善超^{2*} 李世清²

(1. 西北农林科技大学资源环境学院 陕西杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室 陕西杨凌 712100)

摘要 地膜覆盖通过改善土壤环境 进而影响作物产量和农田土壤 N_2O 的产生与释放。综述了地膜覆盖对农田 N_2O 排放影响的研究现状。针对目前研究中存在的问题提出建议 并对该领域的研究方向进行展望。

关键词 地膜覆盖; N_2O ; 小麦; 水稻; 玉米; 棉花; 大豆

中图分类号 S181 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)10-078-04

DOI:10.13989/j.cnki.0517-6611.2016.10.027

Research Status of the Effects of Plastic Film Mulching on N_2O Emission in Farmland

LI Xiao-sha^{1,2}, YUE Shan-chao^{2*}, LI Shi-qing² (1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling, Shanxi 712100; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Northwest A & F University, Yangling, Shanxi 712100)

Abstract Plastic film mulching improved the soil environment, which affected the crop yield and soil N_2O production and emission. Research status of the effects of plastic film mulching on N_2O emission in farmland was reviewed. Suggestions were put forward according to the existing problems in present research. Research direction in this field were forecasted.

Key words Plastic film mulching; N_2O ; Wheat; Rice; Maize; Cotton; Soybean

气候变暖所带来的一系列问题严重威胁了人类的生存与健康。 N_2O 、 CO_2 和 CH_4 是主要的 3 种温室气体,对温室效应的贡献率达到了 80%^[1]。其中 N_2O 是一种长寿的痕量温室气体,在对流层中的存在时间可达 114 年之久^[2],在 100 年的尺度上, N_2O 的增温潜力是 CO_2 的 268 倍^[3]。据报道, 1980~2005 年大气中 N_2O 浓度从 270 $\mu g/L$ 增加到 319 $\mu g/L$, 每年以 0.25% 的速率增长, 如果一直以这个速率增长, 大气中 N_2O 的浓度在 2050 年将达到 350~400 $\mu g/L$ 。人类的生产生活引起的温室气体排放是全球气候变暖的主要原因^[4], 农田土壤是重要的温室气体排放源^[5], 各种农艺措施都对农田土壤温室气体的排放有重要的影响。土壤中的 N_2O 主要是在微生物参与下通过硝化和反硝化作用产生的。硝化过程是在通气条件下, 亚硝化和硝化微生物将铵盐转化为硝酸盐的过程; 反硝化过程则是在缺氧条件下, 由反硝化细菌将土壤中的硝酸盐或硝态氮还原成氮气(N_2)或氧化氮(N_2O 和 NO)的过程。此外, 氮素的非生物转化也可能导致 N_2O 的释放^[6]。地膜覆盖主要是通过影响土壤温度、湿度以及作物的生长来影响土壤 N_2O 的产生。地膜覆盖在我国半干旱区很早就有应用, 但是在旱作粮食生产中的大面积应用仅有 10 多年的时间^[7]。自 20 世纪 80 年代开始, 我国地膜覆盖面积和使用量一直位居世界第 1 位^[8]。据相关部门统计, 2011 年我国地膜用量已达 120 万 t, 覆盖栽培面积达 2 330 万 hm^2 , 未来 10 年我国地膜覆盖面积仍将以每年约 10% 的速度增长^[9]。地膜覆盖具有保水保墒和调节土壤温度的作用, 同时还可以减轻极端天气变化、优化生长条件和延长生育期从而改善作物产量和质量^[10]。研究者对于地膜覆盖对农田生态环境、作物生长、养分利用以及产量的影响已进行了大量

的研究, 并得出了一定的结论^[11-17], 而地膜覆盖对农田 N_2O 的排放的影响目前还没有研究者给出结论。鉴于此, 笔者在查阅国内外相关文献的基础上, 对地膜覆盖对农田 N_2O 排放的影响的研究现状进行概述与分析, 并对今后的研究方向提出展望, 以期为今后的研究提供借鉴。

1 数据来源与研究概况

为全面了解国内外对覆膜农田 N_2O 排放的研究, 以地膜覆盖、 N_2O 为关键词在 CNKI 和 Web of Science 进行全文检索, 从中挑出完整生育期测定, 并且文中有生育期累积排放量或可以通过文中数据、图表计算得出生育期累积排放量的中文文献 7 篇, 英文文献 7 篇。运用 PicPick、Getdata 软件从文献的图中得出数据, 然后计算汇总得出表 1。

由表 1 可知, 现今国内外对覆膜农田 N_2O 排放的研究还很少, 并且主要集中在韩国和中国。韩国的研究主要集中在玉米和大豆 2 种作物上, 而国内研究作物相对较多, 主要集中在粮食作物小麦、水稻、玉米和经济作物棉花上。小麦、玉米、棉花的研究分布在西北干旱半干旱地区, 而水稻的研究则分布在四川、江苏和北京等地。不同作物对于地膜覆盖农田 N_2O 排放的影响并没有得出一致的结论。

2 作物种植对覆膜农田 N_2O 排放的影响

农田 N_2O 的排放就是作物-土壤系统中 N_2O 的产生与释放, 作物的种植与生长都会改变土壤环境, 从而影响 N_2O 的产生与释放。白红英等^[18]、朱咏莉等^[19]的研究表明, 地膜覆盖的休耕地在小麦生育期 N_2O 的累积排放量大于同时期内裸露休耕地的排放量, 并且在相同施氮量的情况下, 小麦的种植促进了 N_2O 的排放, 这可能是因为作物的生长在消耗土壤水分与养分的同时根系通过自身的代谢作用向土壤中分泌有机物及 C、N 等物质, 使得土壤中的硝化和反硝化细菌的活性与数量增加, 进而使得硝化与反硝化过程得到加强。而杨兰芳等^[31]对不覆盖玉米田的研究认为, 玉米的生长与土壤微生物竞争土壤有效氮, 可以定量地减少土壤 N_2O 的排放。这可能与氮肥水平有关, 当氮素不是限制因素时, 硝化和反硝

基金项目 国家自然科学基金(41401343); 中央高校基本科研业务费专项资金(2452015093, 2452015473)。

作者简介 李晓莎(1990-), 女, 河南长垣人, 硕士研究生, 研究方向: 旱作农业及植物营养。* 通讯作者, 助理研究员, 博士, 从事旱作农业及植物营养研究。

收稿日期 2016-03-23

化细菌数量与活性增加,促进了 N₂O 的排放,而当氮素不充足时,有效氮的含量成了硝化与反硝化作用的限制条件,则作物的生长吸收消耗氮素,减少了 N₂O 的排放,毕竟土壤中存在多余的有效氮是土壤 N₂O 产生的前提条件之一。

3 不同作物对覆膜农田 N₂O 排放的影响

作物的种类有时比施肥更能影响 N₂O 的排放。有研究表明施肥较多的小麦生长季的 N₂O 释放通量是未施肥的菠菜地的 2 倍,而仅施少量底肥(施肥量为小麦地 13%)的大豆田的 N₂O 的平均释放通量却为小麦地的 5.8 倍^[32]。可见豆科作物的生长对 N₂O 的排放有更强的促进作用^[33-35]。对于覆膜农田的研究同样支持这样的观点。2011 年 Berger 等^[10]

对韩国不施肥大豆田进行试验,发现生育期大豆地 N₂O 累积排放量达到了 5.90 mmol/m² 和 2010 年施用 200 kg 纯氮的萝卜田的排放量相近,且不覆膜垄上的累积排放为 1 320.4 g/hm²,比覆膜垄上的排放量高 50%,这可能是因为韩国属于温带季风气候区的沙质土壤,地膜覆盖阻碍了水分的入渗,使土壤具有较低的湿度和较高的温度,从而减少了土壤 N₂O 的排放,降低了带来的环境风险。现今,覆膜对豆科作物农田 N₂O 排放影响的研究只是在大豆地进行,且在国内并未进行,而非豆科作物的研究则包括了水稻、小麦、玉米、棉花等多种作物,对于不同的作物,地膜覆盖对农田 N₂O 的排放的影响的研究结果不尽相同。

表 1 不同作物对覆膜农田 N₂O 排放的影响

Table 1 Effects of plastic film mulching on N₂O emission in farmland

作物 Crops	地区 Areas	氮肥水平 Nitrogen levels kg/hm ²	N ₂ O 排放 N ₂ O emission //kg/hm ²		参考文献 References
			覆膜 Plastic film mulching	裸地 No-mulching	
不种 Nocrops	陕西	150	4.57	2.94	[18]
	陕西	150	7.25 / 7.41	3.68 / 3.76	[19]
大豆 Soybean	韩国	0	0.58	0.84	[10]
小麦 Wheat	陕西	150	6.43	4.42	[18]
	陕西	150	10.46 / 11.00	6.33 / 6.48	[19]
水稻 Rice	定西	105	0.32 / 0.16	0.28 / 0.15	[20]
	四川	150	5.06 / 2.61	0.41 / 0.31	[21]
	江苏	225	8.02	1.37	[22]
	北京	225/180	3.75/3.78	0.21/2.52	[23]
	江苏	225	12.60	2.15	[24]
	四川	150	3.25	2.95	[25]
玉米 Maize	陕西	225	1.99	2.01	[26]
	陕西	225	1.57	1.70	[27]
	韩国	186	2.93 / 3.18	2.60 / 2.67	[28]
棉花 Cotton	新疆	100	0.36 / 1.65	0.63 / 2.04	[29]
	新疆	110	0.38 / 1.78	0.64 / 2.48	[30]

注:表中 / 隔开的为 2 年试验结果。
Note: in the table, with the / that separated results of two years.

3.1 地膜覆盖对小麦农田 N₂O 排放的影响 小麦是我国三大粮食作物之一,2014 年其种植面积达 2 500 万 hm²^[36],约 1/6 分布在北方半干旱地区^[37]。地膜覆盖栽培自 1978 年引入中国,在我国得到大面积推广,地膜小麦有着超常的增产效果。自 20 世纪 80 年代以来,学者已对其进行了较为系统地研究。研究证明,地膜覆盖可增加小麦生育前期土壤温度;提高生育期对土壤贮水的利用^[38];改善土壤物理性状,增加土壤微生物数量,促进小麦的生长发育^[39],从而增加小麦分蘖,提高成穗率、穗粒数和千粒重^[40],使小麦的增产幅度在 30% 左右^[41]。

覆膜小麦农田 N₂O 排放的研究集中在我国陕西、甘肃地区。研究结果表明,地膜覆盖可以增加农田 N₂O 的排放^[18-19],一方面是由于地膜的覆盖明显提高了耕层土壤含水量、温度以及硝态氮含量^[43],促使地膜覆盖下的水热以及养分条件得到了协同改善,同时,土壤微生物的活性和数量迅速增加,并且地膜覆盖相对减少了土壤中局部氧浓度,增加了厌氧环境,使反硝化作用增强,从而引起土壤 N₂O 排放

增加^[44];另一方面,地表的覆盖使得西北干旱半干旱地区土壤表层较为常见的干湿交替及冻融交替过程被有效地抑制,以此方式固定和耗损的氮素减少,膜下的氮素得到一定程度地累积,在水热条件合适时,土壤微生物过程加强,氮素作为反硝化的底物,该累积过程可能增加 N₂O 的排放^[18]。

3.2 地膜覆盖对水稻农田 N₂O 排放的影响 20 世纪 90 年代以来,随着我国北方持续干旱和南方季节性缺水问题的日趋严重及作物地膜覆盖技术的进一步发展,地膜覆盖栽培在水稻种植上的应用面积越来越大,2011 年达到了 65.7 万 hm²。一些研究者对水稻地膜覆盖栽培的节水机理、产量影响及环境效益进行了较为详细地研究。研究表明,地膜覆盖可以节水 45%~80%,提高水分利用率,改善土壤环境,促进根系生长,从而使水稻产量增加^[45]。金干瑜等^[46]的多点试验结果表明,水稻覆膜旱栽的产量比普通水田栽培增产 7.6%~25.6%。

有研究认为水稻覆膜栽培(覆膜旱作和覆膜节水栽培)措施最主要的是改变了土壤的含水量,从而改变了土壤中的氧环境,进而影响土壤硝化、反硝化细菌活动,改变土壤 N₂O

的产生与排放。常规水作稻田土壤一直处于浸水状态,形成严格的厌氧环境,使得更多的 N_2O 通过厌氧微生物活动转变为 N_2 , 同时在厌氧条件下,硝化反应减弱,产生了少量的 N_2O 。覆膜稻田的土壤水分和通气性更有利于 N_2O 的产生与释放^[20]。此外,覆膜旱作使水稻根系的通气条件有了很大的改善,肥料 N 和土壤有机 N 矿化释放出的 NH_4^+ 易被土壤硝化细菌氧化成 NO_3^- , 从而使水稻生长过程中 NH_4^+ 和 NO_3^- 在土壤中共存,为硝化和反硝化细菌提供了充足的氮源,从而增加了 N_2O 的产生^[47]。

3.3 地膜覆盖对玉米农田 N_2O 排放的影响 2012 年以来,玉米取代谷物成为我国第一大粮食作物,2014 年其种植面积达到了 3 598 万 hm^2 ,产量增长到了 2.08 亿 t,面积、产量分别比 2000 年增长加 56% 和 103%^[36]。地膜覆盖栽培技术在玉米生产上的应用主要集中在东北、西北和西南的春玉米产区^[48],其种植栽培面积接近 1.0 亿亩。已有研究表明,地膜覆盖通过改善耕层土壤水肥气热状况进而改善玉米生长的微生态环境;促进土壤微生物活动,增加土壤有效养分供应^[49];促进玉米根系对土壤养分和水分的吸收;增加玉米叶面积系数、平均净同化率、地上部干物质累积等产量相关生理指标^[50];大幅提高玉米产量、籽粒品质及水分利用效率^[51-52]。地膜覆盖技术的推广应用大大拓宽了我国玉米的种植范围,尤其是高寒、干旱和积温不足地区。对进一步扩大我国玉米种植面积和提高玉米产量发挥了重要作用。

关于地膜覆盖对玉米农田土壤环境和作物生长的影响研究较多,且已经得出一定的结论,而对农田 N_2O 排放影响的研究并未得出一致的结论。李世清教授课题组在黄土高原半干旱生态系统试验站进行覆膜春玉米的研究,结果发现地膜覆盖并未增加农田土壤 N_2O 的排放甚至造成了少量地减少,这可能是因为覆膜虽然显著增加了土壤含水量,但是在等量施肥的条件下,两者的硝化底物没有明显差异, N_2O 排放主要受施氮量影响,硝化底物效应掩盖了水分效应;另一方面,高温高湿虽有利于土壤中 N_2O 的生成,但是地膜覆盖同时促进了作物的生长及其对矿质氮的吸收,使得作物与土壤微生物竞争氮素,从而限制了 N_2O 的生成^[26-27]。Cuello 等^[28] 在韩国对黑膜覆盖的玉米田的研究却得到了相反的结论。2 个地区的研究得出不同的结论,可能与当地的气候条件及土壤理化性质有关,但并未得到验证。

3.4 地膜覆盖对棉花农田 N_2O 排放的影响 棉花是我国主要的经济作物之一,尤其在新疆,棉花产量的高低直接影响当地的农业产值和经济收入。膜下滴灌栽培技术由于可以增加土壤中的含水量、提高土层温度、改善土壤养分条件从而提高作物产量^[30,53],其在干旱的新疆地区受到了人们的青睐。新疆是我国最适宜也是最大的商品棉生产基地,地膜覆盖面积达到了 80% 以上,已经到了不覆膜不种棉的地步。

膜下滴灌改变了农田土壤环境必将影响农田 N_2O 的排放。李志国等^[29-30] 对覆膜滴灌与常规漫灌棉田温室气体排放的研究发现,覆膜滴灌的温度和土壤含水量均显著高于常规漫灌,而膜下滴灌减少了农田 N_2O 的排放,这与假设推理

是不相符的。造成这种结果的原因可能有 2 个方面,一方面是由于施肥方式不同,覆膜滴灌的棉田,肥料随着滴灌而进入土壤,能更好地被作物吸收,减少了残留在土壤中的氮,降低了硝化和反硝化所需要的氮源,从而降低了 N_2O 的排放;常规漫灌的棉田,肥料在灌溉之前撒施在土表,造成了肥料的浪费,特别是作物行间土壤残留大量氮肥,不能被作物吸收利用,最终通过硝化、反硝化作用产生 N_2O 释放到大气中。另一方面,土壤表面被一层地膜覆盖后,在一定程度上可以阻止或减缓土壤气体 N_2O 向大气的扩散与释放^[54],加之地膜覆盖可以使地膜下局部土壤产生厌氧状态,更加剧了土壤的反硝化作用,使滞留在土壤中的 N_2O 在厌氧微生物的作用下进一步转化为 N_2 ^[55],从而降低土壤 N_2O 的产生。郭伟^[56] 对传统沟灌棉田和膜下滴灌棉田的研究得出同样的结论。

4 问题与展望

目前,虽然对于地膜覆盖对农田 N_2O 排放的影响已经开展了一定的研究,但研究存在一些问题,为了更好地了解地膜覆盖栽培措施对温室效应的影响,在今后的研究中应针对现存问题进行完善。

(1) 研究针对的作物种类少并且研究地点集中,比如,对于小麦的研究集中在西北地区,在其他地区并未得到研究。因此,今后需要在不同的地区、对于不同作物进行覆膜农田 N_2O 排放的研究。

(2) 大多数的研究只是在一个氮水平上开展的,而在低氮、适量氮、高氮等不同的氮肥水平下,地膜覆盖对农田 N_2O 排放的影响是否一样没有定论。由于我国各地氮肥用量存在一定的差异,开展不同氮肥水平下的研究对于估算我国农田 N_2O 的排放是非常有意义的,并且农田 N_2O 的排放在整个生育期内是动态变化的,气候环境的变化、氮肥的施用以及作物的生长都会对其排放产生一定的影响,因此,不同施氮条件下,不同生育期地膜覆盖对农田 N_2O 排放的影响的研究结果对指导合理覆盖和施肥是非常重要的。

(3) 研究大多只是研究了 N_2O 的排放累积量,很少结合作物产量进行计算研究,虽然人们越来越重视环境问题,但我们也不能忽视粮食问题,所以,研究应该结合作物产量,对地膜覆盖产生的环境效益和经济效益进行综合评价。

参考文献

- [1] KIEHL J T, TRENBERTH K E. Earth's annual global mean energy budget [J]. Bulletin of the American meteorological society, 1997, 78 (2): 197-208.
- [2] IPCC. Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [3] IPCC. Climate change 2013: The physical science basis: Working group I Contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.
- [4] 张玉铭, 胡春胜, 张佳宝, 等. 农田土壤主要温室气体 (CO_2 、 CH_4 、 N_2O) 的源/汇强度及其温室效应研究进展 [J]. 中国生态农业学报, 2011, 19 (4): 966-975.
- [5] 翟洋洋, 程云湘, 常生华, 等. 干旱地区农田生态系统土壤温室气体排放机制 [J]. 中国农学通报, 2015, 31 (9): 231-236.
- [6] 王新科, 郑现明, 王俊, 等. 旱作农田土壤 N_2O 排放的研究进展 [J]. 地下水, 2013, 35 (5): 210-213.
- [7] 李小刚, 李凤民. 旱作地膜覆盖农田土壤有机碳平衡及氮循环特征

- [J]. 中国农业科学 2015 48(23):4630–4638.
- [8] 梁银丽 张成娥 郭东伟 黄土高原区农田覆盖效应与前景分析[J]. 中国生态农业学报 2001 9(1):55–57.
- [9] 陈东城. 我国农用地膜应用现状及展望[J]. 甘蔗糖业 2014(4):50–54.
- [10] BERGER S KIM Y KETTERING J et al. Plastic mulching in agriculture—Friend or foe of N_2O emissions? [J]. Agriculture ecosystems and environment 2013 167:43–51.
- [11] 王俊 李凤民 宋秋华 等. 地膜覆盖对土壤水温和春小麦产量形成的影响[J]. 应用生态学报 2001 14(2):205–210.
- [12] BU L D JIU J L ZHU L et al. The effects of mulching on maize growth, yield and water use in a semi-arid region [J]. Agricultural water management 2013 123:71–78.
- [13] 员学锋 吴普特 汪有科. 地膜覆盖保墒灌溉的土壤水、热以及作物效应研究[J]. 灌溉排水学报 2006 25(1):25–29.
- [14] 兰印超 申丽霞 李若帆. 不同地膜覆盖对土壤温度及水分的影响[J]. 中国农学通报 2013 29(12):120–126.
- [15] 李世清 李东方 李凤民 等. 半干旱农田生态系统地膜覆盖的土壤生态效应[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版) 2003 31(5):21–29.
- [16] ZHAO H XIONG Y C LI F M et al. Plastic film mulch for half growing-season maximized WUE and yield of potato via moisture-temperature improvement in a semi-arid agroecosystem [J]. Agricultural water management 2012 104:68–78.
- [17] LIU Y SHEN Y F YANG S J et al. Effect of mulch and irrigation practices on soil water, soil temperature and the grain yield of maize (*Zea mays* L.) in Loess Plateau China [J]. African journal of agricultural research 2011 6(10):2175–2182.
- [18] 白红英 韩建刚 张一平. 覆盖种植措施对农田土壤中 N_2O 排放的影响[J]. 农业环境科学学报 2003 22(4):394–396.
- [19] 朱咏莉 吴金水 韩建刚. 地膜覆盖对土壤中 N_2O 释放的影响[J]. 农业工程学报 2004 20(3):222–225.
- [20] 钱美宇. 干旱半干旱区保护性耕作对农田土壤温室气体通量的影响[D]. 兰州:甘肃农业大学 2008.
- [21] 张怡 吕世华 马静 等. 覆膜栽培及抑制剂施用对稻田 N_2O 排放的影响[J]. 土壤 2013 45(5):830–837.
- [22] 李曼莉 徐阳春 沈其荣 等. 旱作及水作条件下稻田 CH_4 和 N_2O 排放的观察研究[J]. 土壤学报 2003 40(6):864–869.
- [23] KREYE C DITTERT K ZHENG X et al. Fluxes of methane and nitrous oxide in water-saving rice production in north China [J]. Nutrient cycling in agroecosystems 2007 77:293–304.
- [24] XU Y C SHEN Q R LI M L et al. Effect of soil water status and mulching on N_2O and CH_4 emission from lowland rice field in China [J]. Biology and fertility of soils 2004 39:215–217.
- [25] WANG Y Y ZHU B WANG Y Q et al. N_2O emission from paddy field under different rice planting modes [J]. Wuhan University journal of natural sciences 2006 11(4):989–996.
- [26] 阎佩云 刘建亮 沈玉芳 等. 黄土旱塬旱作覆膜春玉米农田 N_2O 排放通量及影响因素研究[J]. 农业环境科学学报 2013 32(11):2278–2285.
- [27] LIU J L ZHU L LUO S S et al. Response of nitrous oxide emission to soil mulching and nitrogen fertilization in semi-arid farmland [J]. Agriculture, ecosystems and environment 2014 188:20–28.
- [28] CUELLO J P HWANG H Y GUTIERREZ J. Impact of plastic film mulching on increasing greenhouse gas emissions in temperate upland soil during maize cultivation [J]. Applied soil ecology 2015 91:48–57.
- [29] 李志国 张润花 赖冬梅 等. 西北干旱区两种不同栽培管理措施下棉田 CH_4 和 N_2O 排放通量研究[J]. 土壤学报 2012 49(5):924–934.
- [30] LI Z G ZHANG R H WANG X J et al. Effects of plastic film mulching with drip irrigation on N_2O and CH_4 emissions from cotton fields in arid land [J]. Journal of agricultural science 2014 152:534–542.
- [31] 杨兰芳 蔡祖聪. 施氮和玉米生长对土壤氧化亚氮排放的影响[J]. 应用生态学报 2005 16(1):100–104.
- [32] 于克伟 陈冠雄 杨思河 等. 几种旱地农作物在农田 N_2O 释放中的作用及环境因素的影响[J]. 应用生态学报 1995 6(4):387–391.
- [33] BARTON L BUTTERBACH-BAHL K KIESE R et al. Nitrous oxide fluxes from a grain-legume crop (narrow-leaved lupin) grown in a semiarid climate [J]. Global change biology 2011 17(2):1153–1166.
- [34] OMONODE R A VYN T J SMITH D R et al. Soil carbon dioxide and methane fluxes from long-term tillage systems in continuous corn and corn-soybean rotations [J]. Soil and tillage research 2007 95:182–195.
- [35] 陈书涛 黄耀 郑循华 等. 种植不同作物对农田 N_2O 和 CH_4 排放的影响及其驱动因子[J]. 气候与环境研究 2007 12(2):147–155.
- [36] FAOSTAT [DB/OL]. [2016–02–03]. <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>.
- [37] WANG F H HE Z H SAYRE K et al. Wheat cropping systems and technologies in China [J]. Field crops research 2009 111(3):181–188.
- [38] 柴守玺 杨长刚 张淑芳 等. 不同覆膜方式对旱地冬小麦土壤水分和产量的影响[J]. 作物学报 2015 41(5):787–796.
- [39] 刘青云 席天元. 旱地小麦地膜覆盖效应研究[J]. 耕作与栽培 2002(5):15–16.
- [40] 乔安福 王熙琛 林怀玉 等. 地膜覆盖对小麦干物质变化及产量构成的影响[J]. 莱阳农业院学报 2002 19(1):34–36.
- [41] 王建功 薛志强. 旱地小麦地膜覆盖栽培技术[J]. 中国农技推广 2011 27(12):22–23.
- [42] 韩建刚 白红英 曲东. 地膜覆盖对土壤中 N_2O 排放通量的影响[J]. 中国环境科学 2002 22(3):286–288.
- [43] 白红英 孙华 李世清 等. 地膜的水热效应与麦田土壤 N_2O 排放[J]. 农业环境科学学报 2009 28(10):2111–2118.
- [44] 白红英 李春越 张一平. 旱地土壤 N_2O 排放与土壤脲酶活性关系的研究[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版) 2003 31(1):29–33.
- [45] 刘洋 张玉烛 王学华 等. 水稻覆膜栽培研究现状与展望[J]. 湖南农业科学 2009(2):55–58.
- [46] 金于瑜 欧阳由男 张国平. 覆膜旱栽水稻的产量与生育表现研究[J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版) 2002 28(4):362–368.
- [47] 李永山 吴良欢 路兴花 等. 丘陵山区覆膜旱作稻田土壤硝态氮和铵态氮动态变化规律探讨[J]. 科技通报 2007 23(2):207–210.
- [48] 赵久然 王荣焕. 30 年来我国玉米主要栽培技术发展[J]. 玉米科学 2012 20(1):146–152.
- [49] 张红锋 王伟 魏素珍. 地膜覆盖对西藏林芝土壤性质及玉米产量的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版) 2015 43(10):14–18 26.
- [50] 葛均筑 李淑娅 钟新月 等. 施氮量与地膜覆盖对长江中游春玉米产量性能及氮肥利用效率的影响[J]. 作物学报 2014 40(6):1081–1092.
- [51] 高玉红 牛俊义 闫志利 等. 不同覆盖栽培方式对玉米干物质积累及产量的影响[J]. 中国生态农业学报 2012 20(4):440–446.
- [52] 曹玉军 魏雯雯 徐国安 等. 半干旱区不同地膜覆盖滴灌对土壤水、温变化及玉米生长的影响[J]. 玉米科学 2013 21(1):107–113.
- [53] 胡明芳 田长彦. 新疆棉田地膜覆盖耕层土壤温度效应研究[J]. 中国生态农业学报 2003 11(3):128–130.
- [54] NISHIMURA S KOMADA M TAKEBE M et al. Nitrous oxide evolved from soil covered with plastic mulch film in horticultural field [J]. Biology and fertility of soils 2012 48:787–795.
- [55] 王改玲 郝明德 陈德立. 秸秆还田对灌溉玉米田土壤反硝化及 N_2O 排放的影响[J]. 植物营养与肥料学报 2006 12(6):840–844.
- [56] 郭伟. 新疆地区灌溉施肥模式对棉田 N_2O 和 NH_3 排放的影响[D]. 南京:南京农业大学 2012.