

施氮对不同栽培模式旱地土壤有机碳氮 和供氮能力的影响

谢驾阳,王朝辉,李生秀

(西北农林科技大学 资源环境学院,陕西 杨凌 712100)

【摘 要】 【目的】研究不同栽培模式下,施氮量对西北旱地土壤有机碳氮累积及供氮能力的影响。【方法】通过 5 年(2002—2007 年)定位大田试验,以不施氮为对照,比较不同施氮量(120,240 kg/hm²)对常规、覆草和覆膜 3 种栽培模式土壤有机碳氮累积和供氮能力的影响。【结果】施氮 0,120,240 kg/hm² 时,覆草栽培土壤有机碳含量分别为 9.74,9.57,9.19 g/kg,全氮含量为 0.99,1.02,1.03 g/kg,土壤氮素矿化势为 25.0,26.7,29.7 mg/kg,矿化速率常数为 0.053,0.062,0.056 /d;覆膜栽培土壤有机碳含量分别为 9.82,8.78,9.80 g/kg,全氮含量为 0.98,0.98,0.95 g/kg,土壤氮素矿化势为 23.2,25.8,24.1 mg/kg,矿化速率常数为 0.058,0.061,0.072 /d;常规栽培土壤有机碳含量分别为 9.79,9.93,9.20 g/kg,全氮含量为 0.93,0.99,0.96 g/kg,土壤氮素矿化势为 23.2,26.2,25.7 mg/kg,矿化速率常数为 0.057,0.061,0.063 /d。【结论】施氮能提高 3 个栽培模式土壤的供氮能力,促进土壤氮素的矿化。适量氮肥能够提高常规模式土壤的有机碳含量,但会降低覆草和覆膜土壤的有机碳含量,故在采用地表覆盖模式栽培时需配施有机肥。

【关键词】 施氮;覆草;覆膜;有机碳;供氮能力;旱地栽培

【中图分类号】 S147.2

【文献标识码】 A

【文章编号】 1671-9387(2009)11-0187-06

Effects of nitrogen fertilizer application on soil organic carbon and nitrogen accumulation and mineralization under different cultivations in northwest dryland

XIE Jia-yang, WANG Zhao-hui, LI Sheng-xiu

(College of Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: 【Objective】 Effects of nitrogen application rates on organic carbon and nitrogen accumulation and mineralization in dryland soil were investigated in this paper. 【Method】 Using soils from a 5-year long nitrogen fertilizer experiment with fixed blocks in Yangling, Shaanxi, we conducted an indoor incubation experiment to study the effects of nitrogen fertilizer rates on organic carbon and nitrogen accumulation and mineralization at 0,120,240 kg N/hm² under three cultivations as straw mulch, plastic-film mulch and no-mulch. 【Result】 Under the three nitrogen application rates of 0,120,240 kg/hm², soil organic carbon contents under straw mulch were 9.74,9.57,9.19 g/kg, total soil nitrogen contents 0.99,1.02,1.03 g/kg, soil nitrogen mineralization potential 25.0,26.7,29.7 mg/kg, and nitrogen mineralization rates 0.053,0.062,0.056 /d. Correspondingly, contents of soil organic carbon under plastic-film mulch were 9.82,8.78,9.80 g/kg, total soil nitrogen contents 0.98,0.98,0.95 g/kg, soil nitrogen mineralization potential

* [收稿日期] 2009-03-05

[基金项目] 国家自然科学基金项目(40671107);现代农业产业技术体系专项经费资助项目

[作者简介] 谢驾阳(1983—),男,浙江临海人,硕士,主要从事氮素营养与生态效应研究。E-mail:mirror-10@163.com

[通信作者] 王朝辉(1968—),男,河北元氏人,教授,博士生导师,主要从事旱地土壤作物氮素及其生态环境效应研究。

E-mail:w-zhaohui@263.net

23.2, 25.8, 24.1 mg/kg, and nitrogen mineralized rates 0.058, 0.061, 0.072 /d. Under conventional cultivation (no-mulch), soil organic carbon contents were 9.79, 9.93, 9.20 g/kg, soil total nitrogen contents 0.93, 0.99, 0.96 g/kg, soil nitrogen mineralization potential 23.2, 26.2, 25.7 mg/kg, nitrogen mineralization rates 0.057, 0.061, 0.063 /d. 【Conclusion】 Nitrogen application could improve organic nitrogen mineralization potential and rates of soils from three cultivations. Proper amount of nitrogen fertilizer could increase organic carbon content of the no-mulch soil, but decrease the straw mulch and plastic-film soil. Both cultivation models of straw mulch and plastic-film mulch need to apply organic fertilizer when nitrogen fertilizer is applied.

Key words: nitrogen fertilizer application; straw mulch; plastic-film mulch; organic carbon; nitrogen supply capacity; dryland cultivation

施氮既是补给土壤氮素和维持土地生产力的主要措施,也是土壤矿质态氮的主要来源。长期不施化肥,土壤自然肥力将不断耗竭,土质恶化,最终导致土壤侵蚀和退化;如果立即停止施用化肥,全世界农作物将会减产 40%~50%^[1]。但是长期过量的施用氮肥又会造成土壤氮素的大量盈余,降低氮肥的增产效率,并给环境带来重大压力。

干旱是限制西北地区作物生产的重要因子之一,而精耕细作、采用地面覆盖、降低无效蒸发、合理施肥等措施,是提高旱地作物产量和农田降水利用效率的基本途径^[2]。秸秆还田是合理利用生物资源,促进农业可持续发展的一种有效方式,它对土壤的理化性状、肥力状况和养分循环及作物产量都有显著影响。秸秆还田能促进土壤有机质积累,改善土壤结构,减缓地力衰竭,增加作物产量。

赵鹏等^[3]研究发现,秸秆还田并配施纯氮 90, 180, 270 和 360 kg/hm²,较单施同量氮肥分别增产 7.1%, 8.4%, 11.1% 和 10.2%。自 1979 年由日本引进地膜覆盖栽培技术后,因作物产量明显提高,在干旱区得到了广泛推广^[4],从而使生产潜力得到有效发挥。地膜覆盖能够改善耕层土壤水热状况,活化土壤养分,对提高水分和养分利用效率,实现粮食增产具有重要作用。王俊等^[5]研究发现,在施纯氮 75 kg/hm² 的基础上,覆膜产量较未覆膜增加 8%。但是,以往研究多集中在覆草或覆膜栽培模式结合施肥对土壤水分、温度以及产量的影响等方面^[6-10],对土壤有机碳氮累积及供氮能力影响的研究还较少。

本研究采集 5 年大田试验土壤进行室内培养试验,分析不同施氮量下不同栽培模式土壤碳氮累积及供氮能力的变化规律,以期为制定合理的施氮措施,提高氮肥利用率,减少氮肥对环境的污染提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验点概况

试验地位于陕西杨凌西北农林科技大学农作一站。该站位于黄土高原南部,海拔 520 m 左右,年均气温 12.9℃,年均降水量 632 mm 左右,降水主要集中在 7~9 月,年均蒸发量 1 400 mm,属半湿润易干旱地区,土壤类型为土垫旱耕人为土。供试田块耕层(0~20 cm)土壤的基本理化性状为:土壤容重 1.35 g/cm³,有机质含量为 13.79 g/kg,全氮 1.07 g/kg,硝态氮 5.4 mg/kg,铵态氮 2.4 mg/kg,有效磷(Olsen-P)15.0 mg/kg,速效钾 182.4 mg/kg, pH 8.25。

1.2 试验设计

种植作物为冬小麦,品种为小偃 22。2002-10 播种第一季小麦,播量 135 kg/hm²,行距 20 cm。试验设 3 个栽培模式:覆草(出苗后行间覆盖麦秸,覆盖量为 4 500 kg/hm²);覆膜(出苗后小麦行间覆盖地膜);常规(裸地无灌溉,当地农民常用方式)。在施磷(P₂O₅) 100 kg/hm² 的基础上,在 3 种栽培模式中又分别设置 3 个施氮水平:0(对照),120,240 kg/hm²,分别用 N₀, N₁₂₀, N₂₄₀ 表示,氮磷肥均在播前基施。氮肥采用尿素,含氮 46%;磷肥采用 Ca(H₂PO₄)₂,含 P₂O₅ 12%。试验为完全随机区组设计,每处理重复 4 次,小区面积 28.8 m²。每年 6 月上旬收获小麦后,夏季休闲免耕,10 月中旬继续采用上述设计播种冬小麦。

1.3 土壤样品采集

2007-09-15 在各小区以“S”布点法选定 10 个点,采集 0~10 cm 土层的土样,混合作为 1 个样,立即带回实验室,捏碎大土块,混匀,备用。

1.4 测定项目及方法

1.4.1 轻质有机碳氮的提取与测定 土样在室温

25 ℃下风干后,去除根茬,研磨并过孔径 2 mm 筛。称取 25.00 g 土样,置于 100 mL 离心管中,加入比重 1.70 g/mL 的 NaI 溶液 50 mL,于 200 r/min 转速下振荡 1 h,然后在 1 000×g 下离心 20 min,将浮在 NaI 表面的轻质有机质倾倒入装有 0.45 μm 纤维滤膜的容器过滤器中进行抽滤,依次用总量 100 mL 0.01 mol/L CaCl₂ 和 100 mL 蒸馏水冲洗纤维滤膜上的轻质有机质至少 3 次。再向离心管中加入 50 mL 比重为 1.70 g/mL 的 NaI 溶液进行第 2 次浸提,步骤同上。将 2 次浸提的轻质有机质转移至烧杯,在 60 ℃下烘干、称质量^[11]。烘干的轻质有机质用玛瑙研钵研细,过孔径 0.15 mm 筛后,用浓硫酸消煮-凯氏定氮法测定轻质有机氮(LFON)和土壤全氮(TN)含量,用岛津 SSM-5000A 有机碳分析仪测定轻质有机碳(LFOC)和土壤有机碳(TOC)含量。

1.4.2 矿化势的测定 采用 Stanford 等^[12]提出的间歇淋洗好气培养法测定土壤氮素矿化势。称 25.00 g 过孔径 2 mm 筛的风干土样和等量石英砂(1~2 mm)置于 150 mL 烧杯中,加少量蒸馏水湿润后用玻璃棒充分混匀,使其形成具有良好通气结构的土砂混合物。然后小心地转入预先铺有一层玻璃丝和 25 g 石英砂的 60 mL 的淋洗管中,再在其上铺少量玻璃丝,以免淋洗时淋洗液直接冲击土砂混合物,使其分离。装好后轻振数下,然后用 100 mL 0.01 mol/L CaCl₂溶液,以 5~10 mL 增量淋洗土壤中起始矿质氮,淋洗后加入 40 mL 无氮营养液。多余水分在 80 kPa 负压下抽去,管口用塑料膜密封,再扎一个小孔,保持试管内良好通气。将淋洗管放入恒温培养箱中,在(35±1) ℃条件下进行培养。在培养的 1,2,3,4,6,8,10 和 12 周取出淋洗管,用 100 mL 0.01 mol/L CaCl₂溶液淋洗移去培养期间

土壤产生的矿质氮,加入无氮营养液并抽去多余水分。每次淋洗液用 100 mL 容量瓶接收,定容后,及时用流动分析仪测定淋洗液中 NH₄⁺-N 和 NO₃⁻-N 含量。

所获得的累积净矿化 N 量与时间的关系用一级动力学方程来描述:

$$N_t=N_0[1-\exp(-kt)]。$$

式中: N_t 为一段时间内累积净矿化氮量, N_0 为土壤氮素矿化势, k 为矿化速率常数, t 为培养时间。矿化势是指在一定条件下,土壤有机氮可释放的最大氮量。

土壤氮素的矿化速率(mineralization rate)=培养期间单位土壤氮素淋洗量/培养时间,土壤氮素的矿化比率(mineralized ratio,用 M-ratio 表示)=(土壤氮素矿化势/土壤全氮)×100%。

1.5 统计方法

数据均采用 EXCEL 2003 和 SAS 6.1 处理,方程序采用软件 Prism 3.2 拟合。

2 结果与分析

2.1 施氮对不同栽培模式下土壤有机碳和全氮的影响

从表 1 可以看出,经过 5 年栽培之后,施氮对各栽培模式下土壤有机碳含量有不同影响。覆草模式下土壤有机碳含量随施氮量的增加而减少,与不施氮相比,分别降低了 2% 和 6%。覆膜模式下施氮 120 kg/hm²处理的土壤有机碳含量显著降低,而施氮 240 kg/hm²处理降低不显著。常规模式下土壤的有机碳含量随施氮量的增加先增后减,但差异不显著。施氮会降低覆草和覆膜模式的土壤有机碳含量;但是对于常规模式,适当施氮会增加有机碳含量,过量则会降低。

表 1 施氮对不同栽培模式下土壤有机碳和全氮含量的影响

Table1 Effects of nitrogen application on soil organic carbon and nitrogen under different cultivations

施氮水平/ (kg·hm ⁻²) Nitrogen rate	覆草 Straw mulch			覆膜 Plastic-film mulch			常规 No mulch		
	有机碳/ (g·kg ⁻¹) TOC	全氮/ (g·kg ⁻¹) TN	碳氮比 C/N	有机碳/ (g·kg ⁻¹) TOC	全氮/ (g·kg ⁻¹) TN	碳氮比 C/N	有机碳/ (g·kg ⁻¹) TOC	全氮/ (g·kg ⁻¹) TN	碳氮比 C/N
0	9.74 a	0.99 a	10	9.82 a	0.98 a	10	9.79 a	0.93 b	11
120	9.57 ab	1.02 a	9	8.78 b	0.98 a	9	9.93 a	0.99 a	10
240	9.19 b	1.03 a	9	9.80 a	0.95 b	10	9.20 a	0.96 ab	10

注:同列数据后标相同小写字母者表示差异不显著($P>0.05$),标不同小写字母者表示差异显著($P>0.05$)。下表同。
Note: Values followed by the same small letters show no significant difference($P>0.05$), values followed by the different small letters show significant difference ($P>0.05$).

从表 1 可以看出,经过 5 年栽培之后,施氮对各栽培模式土壤全氮含量也有不同的影响。覆草模式

下,土壤全氮含量随着施氮量的增加而增大,但差异不显著。覆膜模式下,土壤全氮含量在施氮 120

kg/hm² 时与不施氮相比没有差异,但在施氮 240 kg/hm² 时,土壤全氮含量显著降低;常规模式下,土壤全氮含量随施氮量的增加而先增后减,与不施氮相比,分别增加了 7%和 4%。施氮能够增加覆草和常规模式的土壤全氮含量,但是对于覆膜模式,施氮对土壤全氮含量没有影响,过量施氮甚至会显著降低土壤全氮的含量。

从表 1 还可以看出,不同施氮水平之间以及不同模式之间碳氮比变化很小,碳氮比总体为 9~11,但是施氮后各模式的碳氮比有减少的趋势。

2.2 施氮对不同栽培模式下土壤轻质有机碳氮含量的影响

轻质有机质主要指尚未完全腐殖化的土壤有机质部分,具有明显的易变性,可敏感地反映外界环境因子变化或人为活动对土壤有机质的影响^[13]。与轻质有机质相对应,存在于土壤轻质有机质的碳氮分别称轻质有机碳、轻质有机氮。

从表 2 可以看出,施氮对各栽培模式下土壤轻质有机碳含量有明显影响。覆草模式的土壤轻质有机碳含量随着施氮量的增加而增大,与不施氮相比,

分别增加了 11%和 13%;覆膜模式的土壤轻质有机碳含量分别减少 3%和 18%;常规模式的土壤轻质有机碳分别增加了 5%和 1%。可知施氮能够增加覆草和常规模式土壤的轻质有机碳含量,但是会降低覆膜模式土壤的轻质有机碳含量。

从表 2 可以看出,施氮对各栽培模式下土壤轻质有机氮含量也有影响。覆草模式的土壤轻质有机氮含量随着施氮量的增加而显著增大,与不施氮相比,施氮 120 和 240 kg/hm² 时,覆草模式土壤轻质有机氮含量分别增加了 21%和 32%,覆膜模式分别增加了 14%和 5%,常规模式分别增加了 12%和 14%。但施氮对覆膜和常规模式土壤轻质有机氮的影响不显著。施氮能够增加各栽培模式的土壤轻质有机氮,只是不同栽培模式的增加幅度不同:覆草>常规>覆膜。

从表 2 还可以看出,施氮后各栽培模式的土壤轻质碳氮比均降低,且随着施氮量的增加而降低。覆草的碳氮比从 21 降到 18,覆膜的碳氮比从 21 降到 16,常规的碳氮比从 19 降到 17。从降低的幅度来看,覆膜的降低幅度最大,常规最小,覆草居中。

表 2 施氮对不同栽培模式下土壤轻质有机碳氮含量的影响

Table 2 Effects of nitrogen application on soil light fraction organic carbon and nitrogen under different cultivations

施氮水平/ (kg·hm ⁻²) Nitrogen rate	覆草 Straw mulch			覆膜 Plastic-film mulch			常规 No mulch		
	轻质 有机碳/ (mg·kg ⁻¹) LFOC	轻质 有机氮/ (mg·kg ⁻¹) LFON	轻质 碳氮比/ C/N	轻质 有机碳/ (mg·kg ⁻¹) LFOC	轻质 有机氮/ (mg·kg ⁻¹) LFON	轻质 碳氮比/ C/N	轻质 有机碳/ (mg·kg ⁻¹) LFOC	轻质 有机氮/ (mg·kg ⁻¹) LFON	轻质 碳氮比/ C/N
0	798 b	39 b	21	678 a	33 a	21	605 a	32 a	19
120	885 ab	47 a	19	661 a	37 a	18	636 a	36 a	18
240	905 a	51 a	18	556 b	35 a	16	613 a	37 a	17

2.3 施氮对不同栽培模式下土壤有机氮矿化速率的影响

由图 1 可见,无论是覆草、覆膜还是常规栽培模式,施氮后均能明显提高土壤氮素的矿化速率,但不同施氮量处理的土壤有机氮矿化速率相差不大。3 个栽培模式下土壤有机氮矿化速率均是培养前期高,之后快速降低,至培养第 4 周后降低到第 1 周的 10%以下。

由图 1 可见,施氮能提高各个模式的土壤氮素矿化速率,但提高幅度不同。不施氮时,覆草、覆膜和常规模式第一周的矿化速率分别为 8.9,8.8,8.6 mg/(kg·周)。与不施氮相比,施氮 120 和 240 kg/hm² 时,覆草土壤第一周的矿化速率分别提高 20%和 27%,覆膜土壤分别提高 11%和 17%,常规模式土壤分别提高 18%和 18%。可见,覆草模式土壤的氮素矿化速率对氮肥的响应要高于覆膜和常规模式。

2.4 施氮对不同栽培模式下土壤氮矿化参数的影响

土壤氮素矿化势(N_0)反映了土壤供氮的最大潜力。用一级动力学方程拟合求得的土壤氮素矿化特征参数见表 3。表 3 表明,施氮能够增加不同栽培模式土壤的氮素矿化势,但不同栽培模式对于施氮量的响应不一致:与不施氮相比,施氮 120 和 240 kg/hm² 时,覆草土壤的氮素矿化势分别提高了 7%和 19%,覆膜土壤分别提高了 12%和 4%,常规土壤分别提高 11%和 11%。覆草土壤矿化势随着施氮量的增加而增大,覆膜和常规土壤矿化势随着施氮量的增加呈先增加后降低的趋势。

土壤氮素矿化速率常数(k)是土壤有机氮矿化快慢的标志,在本试验条件下由一级动力学方程求得。从表 3 可以看出,施氮均提高了不同栽培模式的土壤氮素矿化速率常数。与不施氮相比,施氮

120 和 240 kg/hm²下,常规土壤的 k 值从 0.057 增加到 0.063,说明施氮后土壤有机氮矿化从每天的 5.7% 增加到 6.3%;覆膜土壤的 k 值从 0.058 增加到 0.072,说明施氮后土壤有机氮矿化从每天的

5.8% 增加到 7.2%;覆草模式土壤的 k 值从 0.053 增加到 0.062,后又降低到 0.056,说明施氮后土壤有机氮矿化从每天的 5.3% 分别增加到 6.2% 和 5.6%。

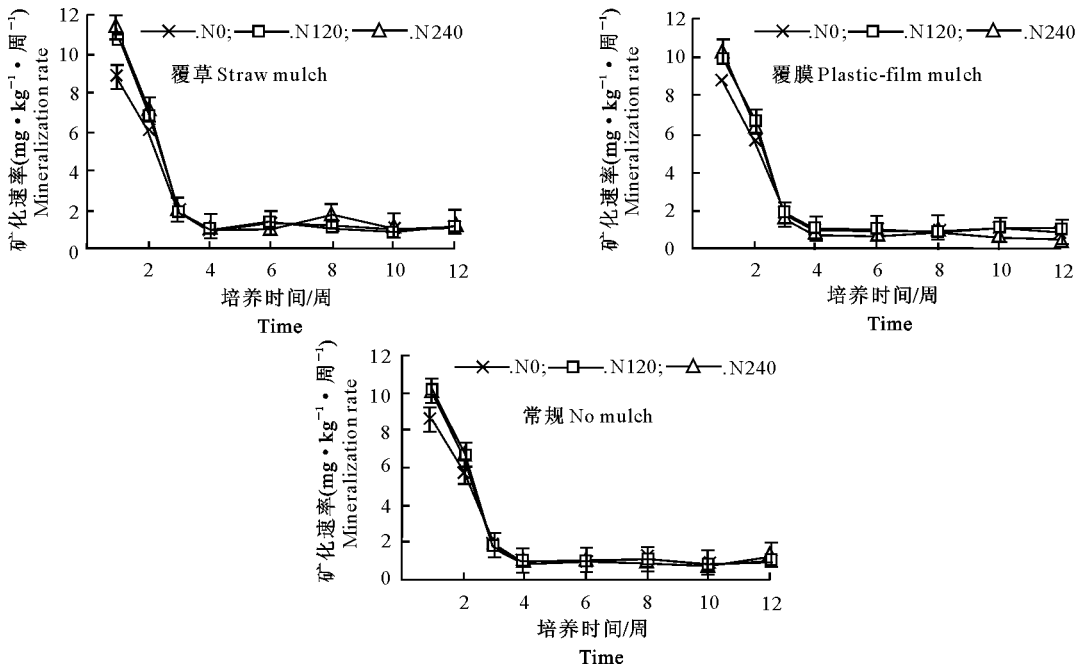


图 1 施氮对不同栽培模式下土壤有机氮矿化速率的影响

Fig. 1 Effects of nitrogen application on rates of organic N mineralization under different cultivations

从表 3 可以看出,施氮后,覆草、覆膜和常规土壤的矿化比率均有所提高。说明无论是覆草、覆膜还是常规栽培模式,施氮均能提高土壤活性有机氮的比例,提高土壤有机氮的矿化能力。

表 3 施氮对不同栽培模式下土壤氮矿化势和矿化速率常数的影响

施氮水平/ (kg·hm ⁻²) Nitrogen rate	覆草 Straw mulch			覆膜 Plastic-film mulch			常规 No mulch		
	矿化势/ (mg·kg ⁻¹) N ₀	矿化 速率 常数/d ⁻¹ k	矿化 比率/% M-ratio	矿化势/ (mg·kg ⁻¹) N ₀	矿化 速率 常数/d ⁻¹ k	矿化 比率/% M-ratio	矿化势/ (mg·kg ⁻¹) N ₀	矿化 速率 常数/d ⁻¹ k	矿化 比率/% M-ratio
0	25.0	0.053	2.52	23.2	0.058	2.37	23.2	0.057	2.51
120	26.7	0.062	2.61	25.8	0.061	2.62	26.2	0.061	2.64
240	29.7	0.056	2.89	24.1	0.072	2.53	25.7	0.063	2.67

3 讨 论

本试验条件下,经过 5 年的不同施氮处理和小麦种植,不同栽培模式的土壤有机碳氮含量及其组分有明显变化。施氮后,常规模式土壤有机碳、全氮含量及轻质有机碳氮含量均有所增加,但过量施氮则会降低。随着施氮量的增加,覆草模式土壤全氮及轻质有机碳氮含量均增加,这与秸秆覆盖能够不同程度地提高土壤有机质的结论^[10,14]相一致;但覆草模式土壤有机碳含量反而有所降低,可能与覆草以及施入氮肥给土壤微生物提供了更多养分,进而加速了对土壤有机碳的分解和氮素的固定有关。有

研究表明,地膜覆盖会加速表层土壤有机质的降解^[15]。本研究中,覆膜土壤有机碳、全氮和轻质有机碳含量在施氮后均有所下降,虽然轻质有机氮含量增加,但土壤有机碳氮及轻质有机碳含量的下降说明覆膜模式施氮后土壤质量下降。可见适量施肥能够增加土壤肥力,过量则会降低土壤肥力;覆草施氮能够增加土壤肥力,覆膜施氮则会降低土壤肥力。与土壤有机质相比,轻质有机质有较宽的 C/N 值,与土壤颗粒的结合较松散,降解速度明显高于土壤中的腐殖质部分,是土壤微生物极易分解的基质^[16-17]。因此,轻质有机质的性质、数量和组成,反映了土壤中动植物残体物质的投入、固持与分解之

间的平衡程度与水平,是土壤有机质周转及作物有效养分的暂时存贮库,可以敏感地反映外界环境因素变化或人为因素对土壤有机质或有机碳库的影响^[18]。本研究中,常规土壤的轻质有机碳氮对氮肥响应与总有机碳氮对氮肥的响应相一致,这与前人的研究结果类似^[19-20];但覆草和覆膜的轻质有机碳氮对氮肥的响应与总有机碳氮对氮肥的响应不一致,这可能与覆草和覆膜人为地改变了植物残体的输入有关。

徐阳春等^[21]研究发现,长期施用氮肥能提高有机氮的矿化势,本研究也证明了这一结论。施氮后,各栽培模式土壤有机氮矿化势均有不同程度的提高,但是施氮过量后,矿化势增加的趋势会减缓,覆膜处理甚至出现下降趋势。施氮不同程度地提高了各栽培模式的矿化比率,即提高了土壤有机氮库的活性成分,同时也提高了土壤氮素的矿化速率及矿化速率常数,明显地影响了土壤供氮的能力。另外,氮肥提高土壤供氮能力与栽培模式无关,只是提高的程度有异。

[参考文献]

[1] 张乃凤,李家康.科学施用化肥,提高增产效益,降低农业成本 [C]//陈俊生.建设高产优质高效农业.北京:中国农业出版社,1994:418-429.
Zhang N F, Li J K. Application chemical fertilizers with science, enhancing the benefit of production increase, reduce agricultural cost [C]//Chen J S. Building high-yield, quality and effect agriculture. Beijing: Chinese Agricultural Press, 1994: 418-429. (in Chinese)

[2] 山 仑,陈国良.黄土高原旱地农业的理论与实践 [M].北京:科学出版社,1993:1-5.
Shan L, Chen G L. The theory and practice of dry land farming on Loess Plateau [M]. Beijing: Science Press, 1993: 1-5. (in Chinese)

[3] 赵 鹏,陈 卓.秸秆还田配施化学氮肥对冬小麦氮效率和产量的影响 [J].作物学报,2008,34(6):1014-1018.
Zhao P, Chen F. Effects of straw mulching plus nitrogen fertilizer on nitrogen efficiency and grain yield in winter wheat [J]. Acta Agron Sin, 2008, 34(6): 1014-1018. (in Chinese)

[4] 吕殿青,杨进荣,马林英.灌溉对土壤硝态氮淋洗效应影响的研究 [J].植物营养与肥料学报,1999,5(4):307-315.
Lü D Q, Yang J R, Ma L Y. Study on effect of irrigation on soil nitrate leaching and uptake [J]. Plant Nutr Fert Sci, 1999, 5(4): 307-315. (in Chinese)

[5] 王 俊,李凤民,李世清,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,2003,14(2):205-210.
Wang J, Li F M, Li S Q, et al. Effects of plastic film mulching on soil temperature and moisture and on yield formation of

spring wheat [J]. Chin J Appl Ecol, 2003, 14(2): 205-210. (in Chinese)

[6] 王春阳,周建斌,李生秀,等.不同栽培模式及施氮量对旱地冬小麦氮素累积及分配的影响 [J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2008,36(1):200-207.
Wang C Y, Zhou J B, Li S X, et al. Effects of different cultivation methods and nitrogen fertilizer application on nitrogen accumulation and distribution in winter wheat on semi-dryland farming [J]. Journal of Northwest A&F University: Nat Sci Ed, 2008, 36(1): 200-207. (in Chinese)

[7] 高亚军,杨君林,李生秀,等.旱地冬小麦不同栽培模式、施氮量和种植密度土壤水分利用状况 [J].干旱地区农业研究,2007,25(3):63-68.
Gao Y J, Yang J L, Li S X, et al. Effect of cultivation methods, fertilize rate and winter wheat planting density on soil water utilization in dry land [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(3): 63-68. (in Chinese)

[8] 关维刚,周建斌,李生秀,等.旱地不同栽培模式下土壤水分和矿质氮含量的时空变化 [J].干旱地区农业研究,2007,25(3):25-31.
Guan W G, Zhou J B, Li S X, et al. Effects of different cultivation patterns of the dry land farming on the spatial-temporal variations of soil moisture and mineral nitrogen in soils [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(3): 25-31. (in Chinese)

[9] 党占平,高亚军,李生秀,等.渭北旱地冬小麦不同覆盖模式增温效应研究 [J].西北农业学报,2007,16(2):24-27.
Dang Z P, Gao Y J, Li S X, et al. Effects of different mulching models on increasing soil temperature in winter wheat of Wei-bei dry land [J]. Acta Agriculture Boreali-occidentalis Sinica, 2007, 16(2): 24-27. (in Chinese)

[10] 卜玉山,苗果园,周乃健,等.地膜和秸秆覆盖土壤肥力效应分析与比较 [J].中国农业科学,2006,39(5):1069-1075.
Bu Y S, Miao G Y, Zhou N J, et al. Analysis and comparison of the effects of plastic film mulching and straw -mulching on soil fertility [J]. Sciatic Agricultural Sinica, 2006, 39(5): 1069-1075. (in Chinese)

[11] Gregorich E G, Ellert B H. Light fraction and macro organic matter in mineral soils [C]//Carter M R. Soil Sampling and methods of analysis. Canada: Lewis Publishers, 1993: 397-407.

[12] Stanford G, Smith S J. Nitrogen mineralization potentials of soils [J]. Soil Sci Soc Amer Proc, 1972, 36: 465-472.

[13] Malli S S, Wang Z H, Schniter M, et al. Nitrogen fertilization effects on quality of organic matter in a grassland soil [J]. Nutrient Cycling in Agro-ecosystems, 2005, 73: 191-199.

[14] 薛少平,朱 琳,姚万生,等.麦草覆盖与地膜覆盖对旱地可持续利用的影响 [J].农业工程学报,2002,18(6):71-73.
Xue S P, Zhu L, Yao W S, et al. Influence of straw and plastic-film mulching on sustainable production of farmland [J]. Transactions of Chinese Society of Agricultural Engineering, 2002, 18(6): 71-73. (in Chinese)