

横垄覆膜对丹江口库区土壤净氮矿化的影响

于兴修, 王伟, 胡砚霞, 汉强, 徐苗苗, 任瑞, 张家鹏

(湖北大学资源环境学院/区域开发与环境响应湖北省重点实验室, 武汉 430062)

摘要: 以丹江口库区五龙池小流域玉米黄棕壤为例, 利用原位矿化试验, 通过与横垄无覆膜土壤比较, 研究横垄覆膜对土壤净氮矿化的影响。结果表明: 玉米苗期中期和拔节期前期, 横垄覆膜土壤净氮矿化量与无覆膜土壤相比分别降低 7.8%~57.0% 和 2.2%~52.8%; 玉米拔节期后期、抽穗期和成熟期, 横垄覆膜土壤净氮矿化量比无覆膜土壤分别提高 352.9%~703.3%, 52.5%~311.0% 和 15.2%~334.8%。横垄覆膜土壤净氮矿化量在玉米苗期、拔节期、抽穗期和成熟期与土壤含水量、温度和全氮间均存在较强度关联关系($0.6 < \text{灰色关联度} \leq 0.8$)。逐步回归分析表明, 横垄覆膜土壤净氮矿化量在玉米苗期与土壤温度间呈最优线性关系($F=7.205, P=0.023$); 在玉米拔节期与土壤含水量和温度间呈最优线性关系($F=36.861, P=0.001$); 在玉米成熟期与土壤含水量间呈最优线性关系($F=42.438, P=0.007$)。

关键词: 横垄覆膜; 土壤净氮矿化; 树脂芯培养法; 丹江口库区

中图分类号: P951; X52; S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-2242(2017)04-0277-08

DOI: 10.13870/j.cnki.stbcbx.2017.04.044

Effects of Cross Ridge Covered with Plastic Film on Soil Net Nitrogen Mineralization in Danjiangkou Reservoir Area, China

YU Xingxiu, WANG Wei, HU Yanxia, HAN Qiang, XU Miaomiao, REN Rui, ZHANG Jiapeng

(College of Resources and Environmental Science, Hubei University/Hubei

Key Laboratory of Region Development and Environment Response, Wuhan 430062)

Abstract: A field plot experiment was conducted to explore the effects of cross ridge covered with plastic film on soil net nitrogen mineralization in Wulongchi small watershed during maize growing period. Results showed that the soil net nitrogen mineralization contents under cross ridge covered with plastic film were significantly lower than those of non-mulched treatment at the mid-term stage of seedling and the early stage of jointing, and the decreases were 7.8%~57.0% and 2.2%~52.8%, respectively. While at the later stage of jointing, heading stage and maturity stage, the former were significantly greater than the latter and the increases were 352.9%~703.3%, 52.5%~311.0% and 15.2%~334.8%, respectively. The higher correlations existed between the soil net nitrogen mineralization contents under cross ridge covered with plastic film and the soil moisture, temperature and total nitrogen contents at the seedling stage, jointing stage, heading stage and maturity stage ($0.6 < \text{Grey correlation degree} \leq 0.8$). The soil net nitrogen mineralization contents under cross ridge covered with plastic film showed a significant linear relationship, with soil temperature at the seedling stage ($F=7.205, P=0.023$), with soil moisture and temperature at the jointing stage ($F=36.861, P=0.001$), and with soil moisture at the maturity stage ($F=42.438, P=0.007$).

Keywords: cross ridge covered with plastic film; soil net nitrogen mineralization; resin core culture method; Danjiangkou Reservoir

土壤中的氮大部分以有机氮的形式存在, 作物可利用的无机氮主要源自有机氮矿化^[1]。土壤净氮矿化是无机氮积累的主要途径, 对无机氮流失和淋失引起的农业非点源污染有重要影响^[2]。土壤净氮矿化受土壤水、热和氮含量^[1,3]等多种因素的综合影响。垄作作为重要保护性耕作措施^[4], 可使耕层土壤含水量较平

作增加 3.5%~12.2%^[5], 土壤温度增加 0.4~1.2 °C^[6], 土壤有机质和全氮含量分别增加 13.0% 和 29.2%^[7]。可见, 垄作通过改变地表微地形, 协调土壤中水、热和肥等关系, 可影响土壤净氮矿化。地膜覆盖是提高作物产量的重要措施, 可使玉米前期耕层土壤温度增加 2.3 °C, 玉米后期耕层土壤温度增加 1.2 °C^[8]; 同时, 覆

膜的不透气性和不透水性可影响土壤水分的运移过程^[9];覆膜还可改变不同生长期作物对土壤氮的吸收利用程度,玉米生长期,土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量呈近似斜“N”的变化过程^[10]。可见,覆膜在作物生长期对土壤水热条件的调节以及对土壤氮含量的影响有差异,进而对土壤净氮矿化的影响也会有不同。垄作覆膜也是一种常见的耕作方式^[11],然而目前关于作物生长期内垄作覆膜通过调节土壤水、热和氮含量影响土壤净氮矿化的研究还较少,开展垄作覆膜对土壤净氮矿化的影响研究可以为深入认识耕作方式对土壤氮循环的影响机理提供基础依据。

丹江口水库是我国南水北调中线工程的重要水源地,农田氮流失是库区农业非点源污染的主要来源^[12],但本区关于土壤净氮矿化尤其是垄作覆膜条件下土壤净氮矿化的研究较少。本研究以丹江口库区青塘河五龙池小流域黄棕壤为例,利用原位矿化试验,分析垄作覆膜对土壤净氮矿化的影响,以期揭示农田土壤氮循环机理和农业非点源污染防控提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

选择湖北省丹江口库区习家店镇五龙池小流域($32^{\circ}45' \text{N}$, $110^{\circ}13' \text{E}$)作为研究区,流域内建有丹江口市水土保持试验基地。研究区面积约 192 hm^2 ,海拔 $278 \sim 402 \text{ m}$,属北亚热带半湿润季风气候,多年平均气温 16.1°C ,多年平均年降水量 797.6 mm ,降水集中在 4—10 月份。土壤类型以黄棕壤为主,局部为紫色土,土层厚度在 $10 \sim 60 \text{ cm}$ 之间,土地利用类型以农地和林地为主,主要农作物有玉米(*Zea mays*)和油菜(*Brassica campestris*)等。

1.2 试验设计

1.2.1 原位矿化小区设计 选择研究区内黄棕壤,按照当地耕作方式施脲铵氮肥 1212 kg/hm^2 (全氮 $\geq 30\%$, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 15%),然后整地形成垄沟结构;设横垄无覆膜(简称无覆膜)和横垄覆膜(简称覆膜)2 种处理,3 次重复均为不同处理的相间分布,共 6 个试验小区,各小区面积为 $1.2 \text{ m} \times 10 \text{ m}$,包括 16 个垄长 100 cm ,垄宽 40 cm ,垄沟宽 20 cm ,垄高 10 cm 的垄,垄向与等高线平行(图 1)。播种前耕层土壤容重 1.29 g/cm^3 ,有机质含量 5.80 g/kg ,全氮含量 0.38 g/kg ,铵态氮含量 3.84 mg/kg ,硝态氮含量 5.24 mg/kg ,含水量 15.33% ,温度 21.55°C 。

1.2.2 原位矿化装置设计 用树脂芯培养法测 0— 10 cm 土层土壤净氮矿化量。原位矿化装置包括:铝合金管(管高 15 cm ,管径 6 cm),装有阴、阳离子交换树脂各 13 g 的树脂袋、滤纸和珍珠岩袋。试验时将

铝合金管在垄顶垂直打入土壤,拔出后去掉管底 5 cm 处土壤,依次放入滤纸—树脂袋—滤纸—珍珠岩袋,然后将其放回初次打入的位置培养。

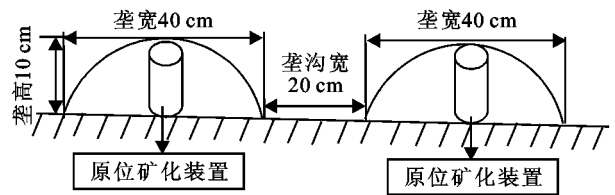


图 1 原位矿化小区设计示意

1.3 样品采集与分析测试

1.3.1 样品采集 矿化装置在玉米播种日统一布设,各小区根据生长期预设 31 组,每组间隔 20 cm 。同时,用铝合金管沿小区对角线取 0— 10 cm 土层的土壤,作为土壤净氮矿化初始值。以 3 天为周期(若遇降雨,则在降雨结束后顺延 1~2 天),分别在各小区取 1 组矿化装置,将树脂袋和土样送回实验室。玉米于 2016 年 4 月 1 日播种后用薄膜将覆膜小区的垄覆盖,玉米出苗后,在发芽处开孔,至 8 月 6 日收获。根据玉米生长状况,划分为苗期(4 月 1 日至 5 月 9 日)、拔节期(5 月 10 日至 6 月 10 日)、抽穗期(6 月 11 日至 7 月 8 日)和成熟期(7 月 9 日至 8 月 6 日)4 个阶段。玉米生长期,苗期、拔节期、抽穗期和成熟期降雨量分别占生长期降雨总量的 11.5% , 22.0% , 15.4% 和 51.2% (图 2)。

1.3.2 样品分析 树脂袋送回实验室后用 150 mL 2 mol/L 的 KCl 溶液浸提。 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 和 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ (土样和浸提液)分别用双波长系数法和纳氏试剂比色法采用紫外可见分光光度计(UV—1200)测定;土壤全氮含量采用高氯酸—浓硫酸消解靛酚蓝比色法^[13]测定;土壤含水量采用烘干法(105°C , 24 h)测量;土壤温度用插杆式温度计(L93)测量,测量周期与取矿化装置的周期一致,每次测量时间定为 8:00, 14:00, 20:00,求日均温。

1.4 数据处理

本研究中土壤净氮矿化量是土壤净氮化量和净硝化量之和,土壤净氮化量和净硝化量分别是培养后和培养前土壤 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量的差值与被树脂吸附 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量之和^[2]。

用 t 检验分析 2 种处理各观测指标的差异性($\alpha = 0.05$)。用灰色关联度分析土壤净氮矿化量与含水量、温度和全氮之间的关联关系。关联度分级为^[14]: $0 < \text{关联度} \leq 0.40$,为轻度关联; $0.40 < \text{关联度} \leq 0.60$,为中度关联; $0.60 < \text{关联度} \leq 0.80$,为较强度关联; $0.80 < \text{关联度} \leq 1.0$,为强度关联。用逐步回归分析土壤净氮矿化量与上述因子间的定量关系。用 SPSS 19.0 和 Excel 2010 进行数据分析和作图。图中的数据为均值±标准误差,同一采样周期不同小写字母表示差异显著($P < 0.05$)。

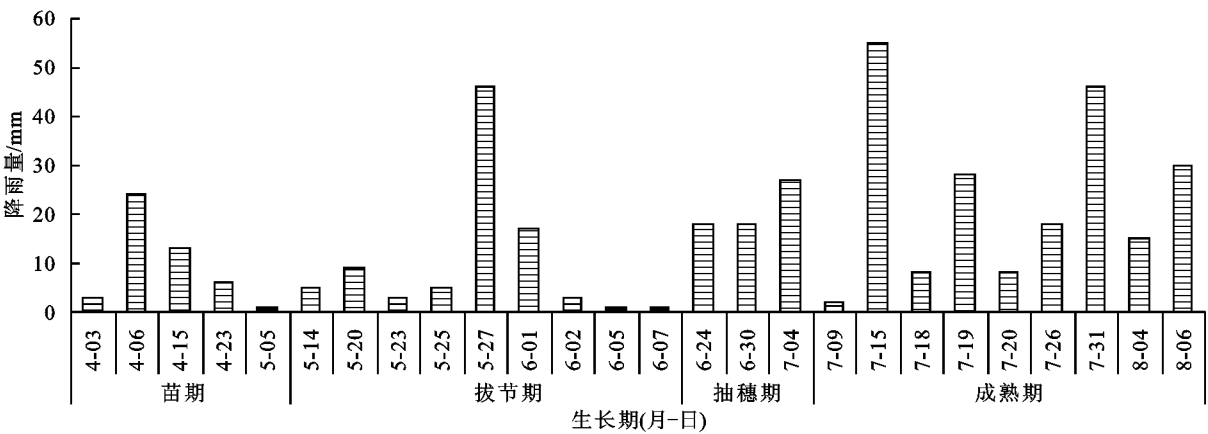


图 2 玉米生长期内降雨量

2 结果与分析

2.1 土壤水热条件的变化

2.1.1 土壤含水量 图 3 显示,与无覆膜土壤相比,覆膜土壤含水量在苗期和拔节期前期变化较为平缓,在拔节期后期(5 月 29 日至 6 月 10 日)、抽穗期后期(7 月 5 日—8 日)和成熟期后期(7 月 17 日至 8 月 6 日)分别出现高值。覆膜土壤含水量在苗期前期和后期与无覆膜相比差异不显著($P>0.05$),在苗期中期(4 月 8—31 日)比无覆膜土壤低 12.0%~61.6%;覆膜土壤含水量在拔节期、抽穗期和成熟期比无覆膜土壤分别高 7.8%~80.3%,4.0%~83.2%和 1.6%~11.5%,其中,拔节期和抽穗期增幅最大,成熟期

增幅较小。
2.1.2 土壤温度 图 3 显示,玉米生长期内,覆膜土壤温度的变化趋势与无覆膜土壤大致相同,苗期和拔节期前期(5 月 12—22 日)为 20.6~31.7℃,拔节期后期、抽穗期和成熟期有所升高,为 27.1~34.0℃,且变化较为平缓。覆膜土壤温度在苗期和拔节期前期(4 月 1 日至 6 月 4 日)与无覆膜土壤相比高 6.5%~19.0%;在拔节期后期、抽穗期和成熟期与无覆膜土壤相比差异不显著($P>0.05$)。这表明,玉米苗期和拔节期前期低温阶段,覆膜增温效果显著;拔节期后期、抽穗期和成熟期高温阶段,覆膜增温效果不明显。

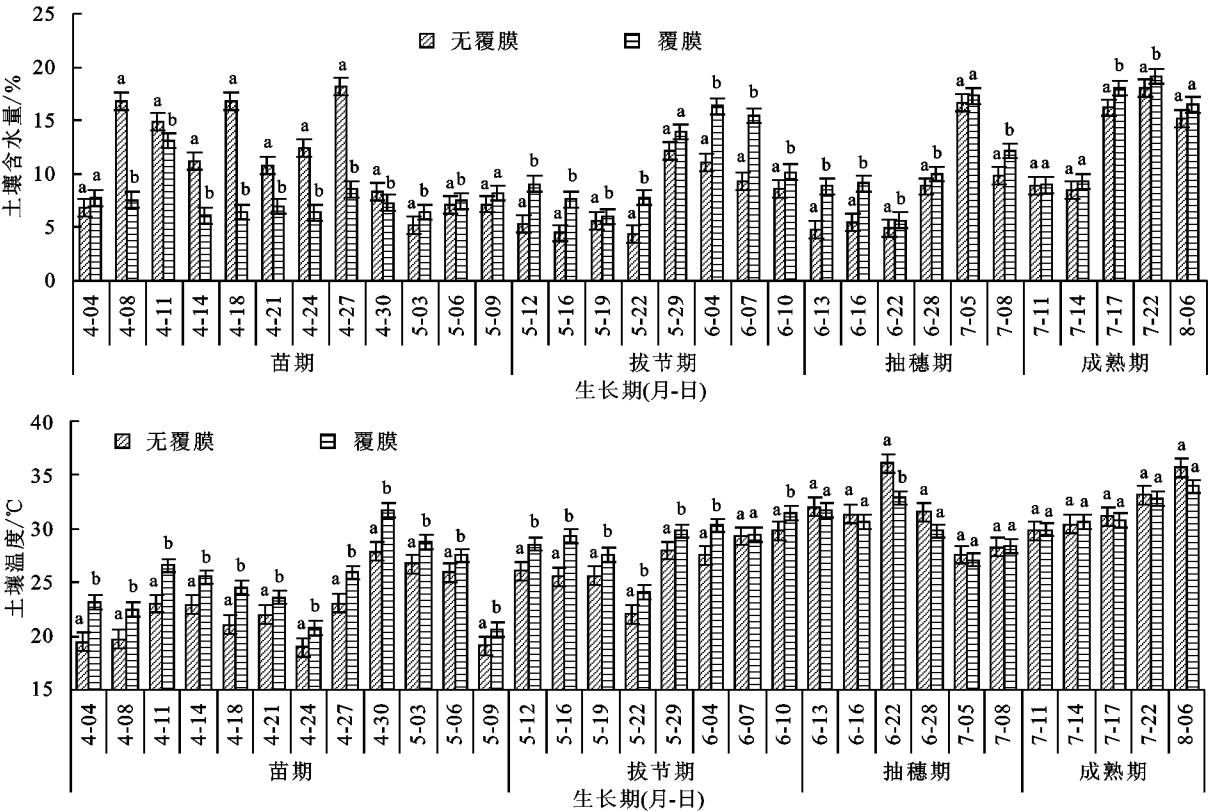


图 3 玉米生长期内土壤水热条件的变化

2.2 土壤氮含量变化

2.2.1 土壤 NH_4^+-N 含量 从图 4 可以看出,玉

米生长期内,与无覆膜土壤相比,苗期覆膜土壤 NH_4^+-N 含量在 13.9~74.6 mg/kg 范围内波动增

加,拔节期覆膜土壤 NH_4^+-N 含量出现在 31.9~82.9 mg/kg 范围内波动的峰值区,抽穗期和成熟期覆膜土壤 NH_4^+-N 含量减少且变化平缓。覆膜土壤 NH_4^+-N 含量在苗期前期(4月1—4日)、抽穗期后期(7月5—8日)和成熟期与无覆膜土壤相比差异不显著($P>0.05$)。覆膜土壤 NH_4^+-N 含量在苗期后期、拔节期和抽穗期前期比无覆膜土壤分别高 77.3%~619.2%, 350.0%~710.2% 和 98.0%~453.7%, 其中,拔节期增幅最高,平均增幅为 543.1%,其次为苗期后期,抽穗期前期增幅较小,平均增幅为 273.5%。

2.2.2 土壤 NO_3^--N 含量 从图 4 可以看出,玉米生长期,覆膜土壤 NO_3^--N 含量的变化过程表现为苗期后期、拔节期、抽穗期和成熟期前期(4月27日至7月14日)分别出现 106.2~198.4 mg/kg, 85.1~232.7 mg/kg, 58.8~222.2 mg/kg 和 175.9~233.3 mg/kg 范围内波动的高值区,成熟期后期迅速降低。覆膜土壤 NO_3^--N 含量在苗期前期(4月1—8日)与无覆膜相比,差异不显著($P>0.05$)。覆膜土壤 NO_3^--N 含量在苗期后期和拔节期前期(4月11日至5月22日)比无覆膜分别低 8.0%~78.6%和 21.1%~68.8%,其中,拔节期前期降幅最大,平均降幅为 43.3%,苗期后期降幅较小。覆膜土壤 NO_3^--N 含量在拔节期后期、抽穗期和成熟期比无覆膜分别高 8.5%~111.8%, 274.2%~777.5% 和 35.3%~524.8%,其中,抽穗期平均增幅最高,达 476.2%,成熟期次之,拔节期后期增幅最小,为 62.1%。

2.2.3 土壤全氮含量 从图 4 可以看出,玉米生长期,与无覆膜土壤相比,覆膜土壤全氮含量的变化过程表现为在苗期前期(4月1—21日)较低,在苗期后期(4月22日至5月9日)、拔节期、抽穗期和成熟期均较高,分别为 0.7~0.9 g/kg, 0.7~0.8 g/kg, 0.7~0.9 g/kg 和 0.7~0.9 g/kg。覆膜土壤全氮含量在苗期前期(4月1—18日)与无覆膜土壤相比,差异不显著($P>0.05$)。覆膜土壤全氮含量在苗期中期(4月19—27日)比无覆膜土壤低 19.8%。覆膜土壤全氮含量在苗期后期(4月28日至5月9日)、拔节期后期、抽穗期和成熟期比无覆膜土壤分别高 13.0%~35.7%, 13.0%~28.2%, 3.7%~32.8% 和 10.1%~61.9%,其中,苗期后期增幅最高,平均增幅为 26.9%,其次为拔节期和成熟期,抽穗期增幅最小,平均增幅为 17.2%。

2.3 土壤净氮矿化的变化

2.3.1 土壤净氨化量 从图 5 可以看出,玉米苗期和拔节期覆膜土壤净氨化量较高,分别为 10.3~

74.0 mg/kg 和 32.0~76.2 mg/kg,抽穗期和成熟期覆膜土壤净氨化量较低,分别为 5.8~37.3 mg/kg 和 6.0~11.2 mg/kg。覆膜土壤净氨化量在苗期前期(4月1—4日)、抽穗期后期(7月5—8日)和成熟期与无覆膜土壤相比,差异不显著($P>0.05$)。覆膜土壤净氨化量在苗期后期、拔节期和抽穗期前期比无覆膜土壤分别高 71.0%~609.2%, 87.5%~604.5% 和 81.7%~361.2%,其中,拔节期增幅最大,平均增幅为 334.1%,其次为苗期后期,抽穗期前期增幅最小,平均增幅为 199.5%。

2.3.2 土壤净硝化量 从图 5 可以看出,玉米生长期,覆膜土壤净硝化量的变化过程与无覆膜土壤大致相同,覆膜土壤净硝化量在苗期前期(4月1—24日)较低;在苗期后期、拔节期和抽穗期前期(4月27日至6月28日)分别出现 107.4~202.3 mg/kg, 92.5~247.8 mg/kg 和 92.7~244.1 mg/kg 范围内波动的高值区;在抽穗期后期和成熟期降低。覆膜土壤净硝化量在苗期前期(4月1—11日)与无覆膜土壤相比,差异不显著($P>0.05$)。覆膜土壤净硝化量在苗期后期和拔节期前期(4月14日至5月22日)比无覆膜土壤分别低 9.1%~80.8%和 21.2%~67.3%,其中,拔节期前期降幅最大,平均降幅为 42.3%,苗期后期降幅最小。覆膜土壤净硝化量在拔节期后期、抽穗期和成熟期(5月29日至8月6日)比无覆膜土壤分别高 286.1%~731.2%, 80.2%~361.2% 和 15.5%~263.1%,其中,拔节期后期增幅最高,平均增幅为 528.4%,其次为抽穗期,成熟期增幅最低。

2.3.3 土壤净氮矿化量 从图 5 可以看出,玉米生长期,覆膜土壤净氮矿化量变化过程与无覆膜土壤基本一致,覆膜土壤净氮矿化量在苗期前期(4月1—21日)较低;在苗期后期、拔节期和抽穗期前期(4月24日至6月28日)分别出现 101.2~264.8 mg/kg, 136.5~304.2 mg/kg 和 130.0~259.9 mg/kg 范围内波动的峰值区;在抽穗期后期和成熟期降低。覆膜土壤净氮矿化量在苗期前期(4月1—11日)和苗期后期(5月6—9日)与无覆膜土壤相比,差异不显著($P>0.05$)。覆膜土壤净氮矿化量在苗期中期(4月14日至5月3日)和拔节期前期(5月12—22日)比无覆膜土壤分别低 7.8%~57.0%和 2.2%~52.8%,其中,苗期中期降幅最大,平均降幅为 27.8%,拔节期前期降幅最小。覆膜土壤净氮矿化量在拔节期后期、抽穗期和成熟期(5月29日至8月6日)比无覆膜土壤分别高 352.9%~703.3%, 52.5%~311.0% 和 15.2%~334.8%,其中,拔节期后期增幅最高,平均增幅为 550.3%,其次为抽穗期,成熟期增幅最低。

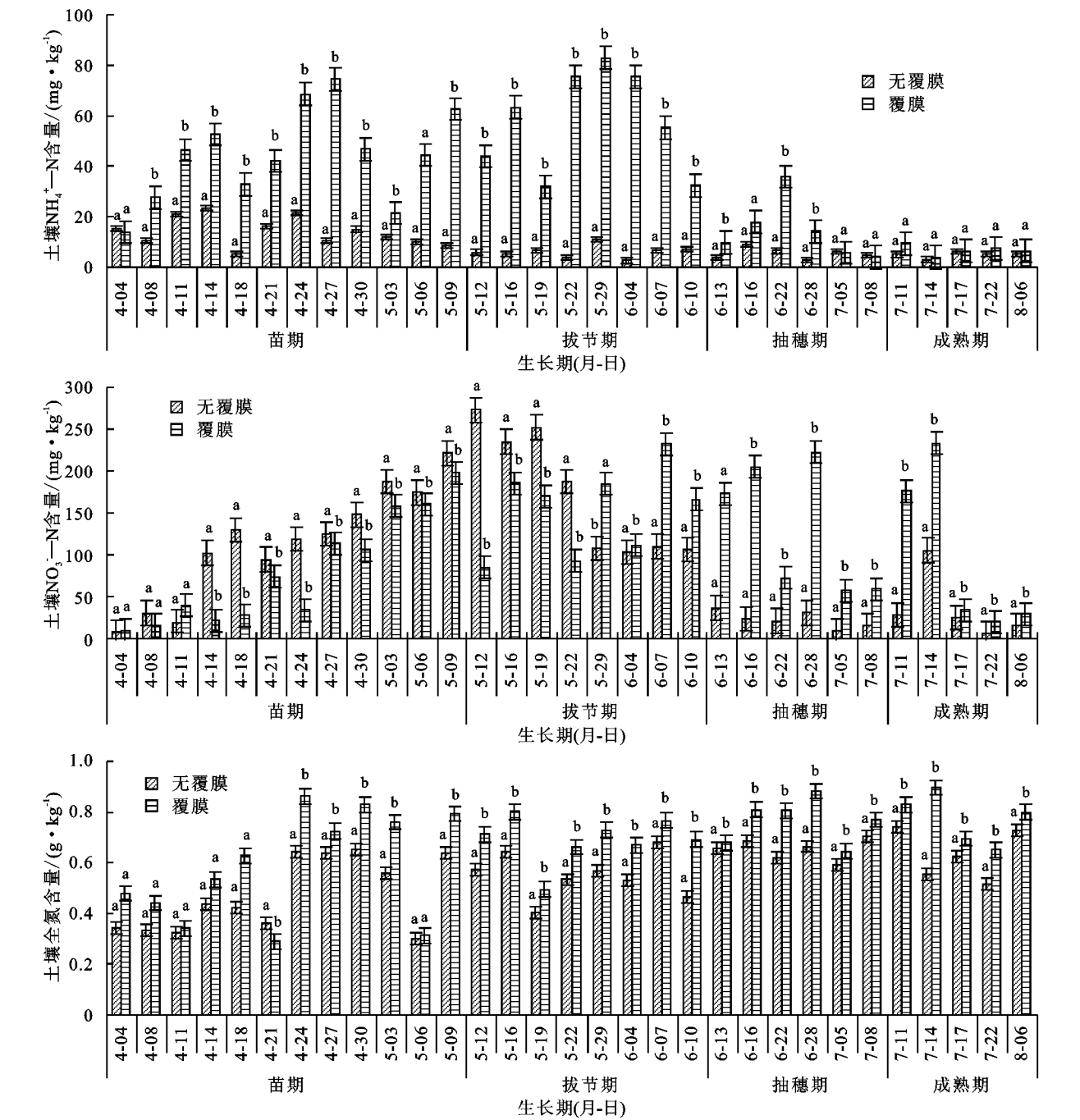


图 4 玉米生长期内土壤氮含量的变化

2.4 土壤净氮矿化与影响因子间的关系

从表 1 可以看出,玉米生长期内,覆膜土壤净氮矿化量与含水量、温度和全氮间均为较强度关联关系 ($0.6<\text{关联度}\leq 0.8$),但各生长期有区别。土壤净氮

矿化量在苗期与全氮间的关联度最高,与温度间的关联度最低;在拔节期和抽穗期均与全氮间的关联度最高,与含水量间的关联度最低;在成熟期与含水量间关联度最高,与全氮间关联度最低。

表 1 覆膜土壤净氮矿化量与影响因子间的灰色关联度和逐步回归方程

生长期	n	灰色关联度			逐步回归分析			
		含水量	温度	全氮	回归方程	调整后 R^2	F 统计量	P
苗期	12	0.6117	0.6101	0.6222	$y=-1.944+3.594x_2$	0.361	7.205	0.023
拔节期	8	0.6463	0.6977	0.7269	$y=8.752-2.068x_1-5.319x_2$	0.911	36.861	0.001
抽穗期	6	0.6292	0.7477	0.7530	$y=1.911-0.539x_1-1.325x_2+0.993x_3$	0.510	0.437	0.751
成熟期	5	0.7168	0.6580	0.6273	$y=2.520-1.089x_1$	0.912	42.438	0.007

注: y 为土壤净氮矿化量; x_1 为含水量; x_2 为温度; x_3 为全氮。

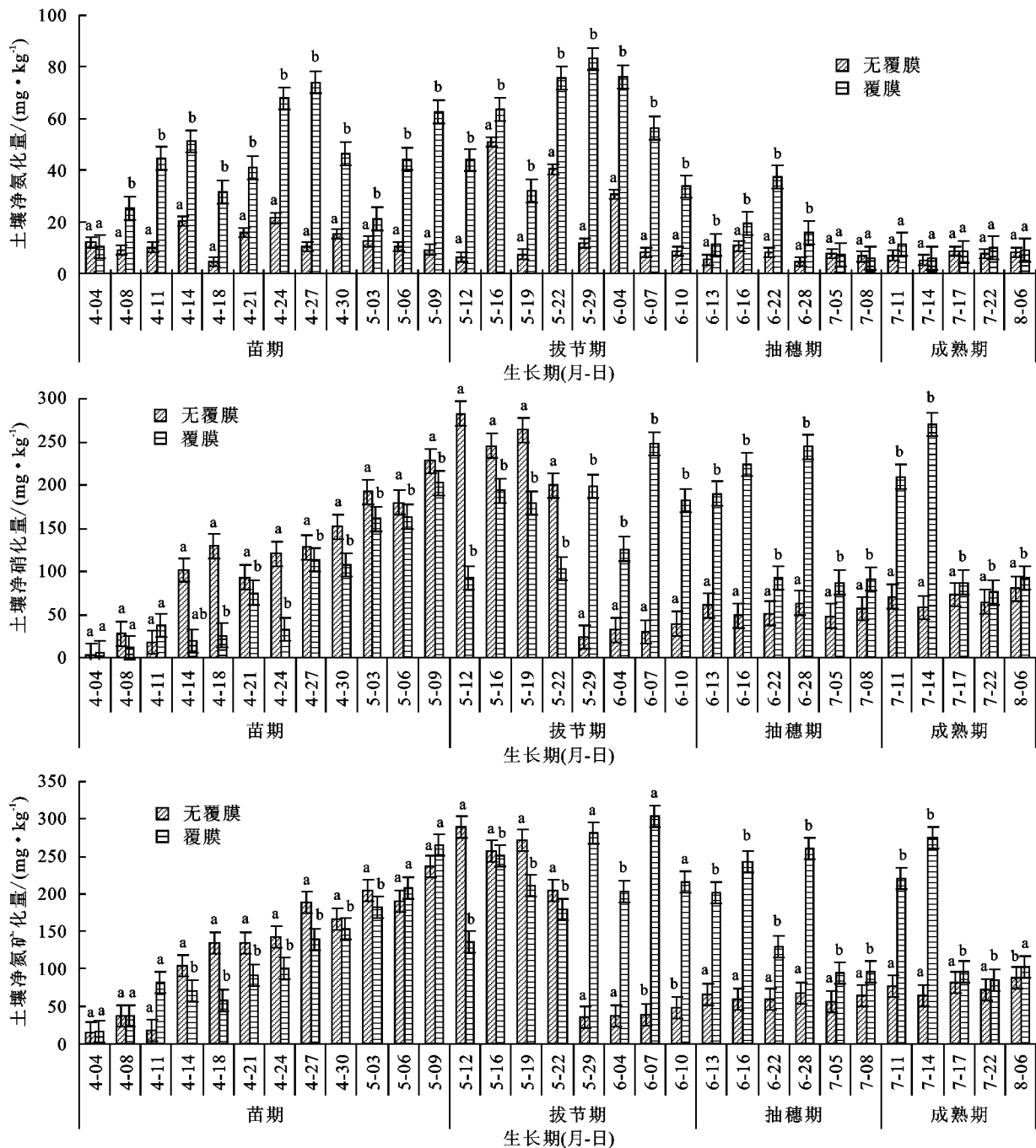


图 5 玉米生长期内土壤净氮化量、净硝化量和净氮矿化量的变化

为揭示土壤净氮矿化与上述因子间的定量关系,对土壤净氮矿化量与各因子进行逐步回归分析(表 1)。结果显示,调整后 R^2 在苗期、拔节期和成熟期均能达到显著水平($P<0.05$),但不同生长期进入方程的因子数量发生了变化。苗期仅温度一个因子进入最优回归方程,表明温度是影响苗期土壤净氮矿化的主要因子;拔节期含水量和温度两个因子进入最优回归方程,表明含水量和温度是影响拔节期土壤净氮矿化的主要因子;成熟期仅含水量一个因子进入最优回归方程,表明含水量是影响成熟期土壤净氮矿化的主要因子;抽穗期含水量、温度和全氮 3 个因子均能进入回归方程,但未达到显著水平($P>0.05$)。

3 讨论

土壤净氮矿化作为土壤无机氮积累的主要途径之一^[15],与土壤无机氮流失与淋失引起的农业非点源污染有关^[2]。同时,土壤净氮矿化对大气中温室气体(CO_2 、 NO_x 等)的浓度也有影响^[16]。土壤净氮矿化作为土壤氮转化的主要途径,是生物地球化学过程关注的热点问题。土壤净氮矿化受土壤水热和氮含量等理化性质的影响^[1-3],垄作覆膜通过调节土壤水热条件和改变土壤氮含量可影响土壤净氮矿化。

覆膜可影响土壤水热环境。有研究认为^[17],覆膜可抑制土壤水分蒸发,增加土壤含水量;也有研究认为^[9],覆膜在一定程度上可阻断大气降水在土壤中

的下渗过程,延缓降雨对土壤水分的补充。覆膜土壤含水量在玉米苗期中期(4月8—31日)比无覆膜低12.0%~61.6%,这与已有研究结果^[2,17]有差异,原因可能与试验时特殊的天气状况有关。试验期间降雨较少,占生长期降雨总量的4.6%,土壤前期含水量较低,覆膜的保湿效应不明显。同时,覆膜对大气降水的阻隔作用延缓了苗期中期降雨对土壤水分的补充,土壤含水量较低。覆膜土壤含水量在拔节期、抽穗期和成熟期比无覆膜土壤分别高7.8%~80.3%,4.0%~83.2%和1.6%~11.5%。这与已有研究结果^[2,17]基本一致,表明覆膜可增加土壤含水量。

覆膜土壤温度在玉米苗期和拔节期前期(5月12日至6月4日)比无覆膜土壤高6.5%~18.9%;在玉米拔节期后期、抽穗期和成熟期与无覆膜土壤相比差异不显著($P>0.05$)。这与已有研究结果^[8]相一致,表明在玉米苗期和拔节期前期低温阶段,覆膜增温效果显著,在玉米拔节期后期、抽穗期和成熟期高温阶段,覆膜增温效果不明显。原因可能与试验期间气温的变化有关,苗期和拔节期前期气温较低,为12.7~31.0℃,覆膜有明显的增温效果,拔节期后期、抽穗期和成熟期气温较高,为24.5~38.3℃,覆膜增温效果不明显。同时,拔节期后期、抽穗期和成熟期玉米叶面积逐渐增大^[10],遮阴降温可导致覆膜的增温效果减弱。

覆膜能够改善土壤水热条件^[8],增加土壤氮含量^[18],影响土壤净氮矿化。玉米生长期,覆膜土壤净氮矿化的变化过程与土壤全氮含量呈较高关联和高关联关系。覆膜土壤全氮含量和净氮矿化量在苗期前期与无覆膜土壤相比没有显著差异,而在苗期中期明显低于无覆膜土壤,这与已有研究结果^[2]有差异。原因可能与试验时特殊天气状况有关,苗期前期降雨量较少,占玉米生长期降雨总量的9.8%,覆膜土壤前期含水量较无覆膜土壤低12.0%~61.6%,覆膜对土壤水热的调节作用不明显,对土壤全氮含量的影响较弱,进而对土壤净氮矿化的影响也较小;苗期中期土样的采集均是在天气久旱逢降雨后进行,降雨能够及时补充无覆膜土壤水分,而地膜的不透水性延缓了降雨对覆膜土壤含水量的补充^[9],使覆膜土壤含水量较低,降低了土壤全氮含量,土壤净氮矿化量也较低。

覆膜土壤全氮含量和土壤净氮矿化量在拔节期、抽穗期和成熟期明显高于无覆膜土壤,这与已有研究结果^[2,18]基本一致。表明覆膜通过改善土壤水热条件,增加了全氮含量,促进土壤净氮矿化;覆膜能促进玉米生长,增强玉米对土壤氮的吸收利用效率^[10],促进土壤净氮矿化;覆膜还可改变地表微地形,协调土

壤水、热和氮含量等关系^[5-7],影响土壤净氮矿化量。

土壤净氮矿化与土壤水、热和氮含量等因子有关^[3,19]。耕作方式会引起土壤理化性质的改变^[5-7],对土壤净氮矿化也可能有影响。张珊等^[20]研究发现,土壤净氮矿化量与土壤全氮有关。本研究中覆膜土壤净氮矿化量在苗期与全氮间的关联度最高,与温度间的关联度最低;在拔节期和抽穗期均与全氮间的关联度最高,与含水量间的关联度最低;在成熟期与含水量间关联度最高,与全氮间关联度最低。逐步回归分析表明,覆膜土壤净氮矿化量在苗期与温度间呈最优线性关系,表明温度是影响苗期土壤净氮矿化的主要因子;在拔节期与含水量和温度间呈最优线性关系,表明含水量和温度是影响土壤净氮矿化的主要因子;在成熟期与含水量间呈最优线性关系,表明含水量是影响成熟期土壤净氮矿化的主要因子。土壤净氮矿化量在抽穗期与含水量、温度和全氮间呈线性关系,但未达到显著水平($P>0.05$)。原因可能是抽穗期土壤净氮矿化量除含水量、温度和全氮影响外,还会受其他土壤理化性质和土壤微生物等多因素的综合影响^[17,20]。

4 结论

(1)覆膜可调节玉米生长期土壤水热条件和氮含量。拔节期、抽穗期和成熟期土壤含水量比无覆膜分别高7.8%~80.3%,4.0%~83.2%和1.6%~11.5%。苗期和拔节期前期低温阶段,覆膜增温效果显著;拔节期后期、抽穗期和成熟期高温阶段,覆膜增温效果不明显。苗期后期、拔节期、抽穗期和成熟期覆膜土壤全氮含量比无覆膜分别高13.0%~35.7%,13.0%~28.2%,3.7%~32.8%和10.1%~61.9%。

(2)玉米生长期,覆膜通过调节土壤水热条件和氮含量,进而影响土壤净氮矿化。苗期中期和拔节期前期,覆膜土壤净氮矿化量比无覆膜分别低7.8%~57.0%和2.2%~52.8%,拔节期后期、抽穗期和成熟期,覆膜土壤净氮矿化量比无覆膜分别高352.9%~703.3%,52.5%~311.0%和15.2%~334.8%。

(3)玉米生长期,覆膜土壤净氮矿化与土壤水热条件、氮含量等因子间存在关联关系和线性关系。覆膜土壤净氮矿化量与含水量、温度和全氮间均为较强度关联关系。覆膜土壤净氮矿化量在苗期与温度间呈最优线性关系,表明温度是影响苗期土壤净氮矿化的主要因子;在拔节期与含水量和温度间呈最优线性关系,表明含水量和温度是影响土壤净氮矿化的主要因子;在成熟期与含水量间呈最优线性关系,表明含水量是影响成熟期土壤净氮矿化的主要因子。

参考文献:

[1] Kader M A, Sleutel S, Begum S A, et al. Nitrogen minerali-

- zation in sub-tropical paddy soils in relation to soil mineralogy, management, pH, carbon, nitrogen and iron contents [J]. *European Journal of Soil Science*, 2013, 64(1): 47-57.
- [2] Zhang H Y, Liu Q J, Yu X X, et al. Effects of plastic mulch duration on nitrogen mineralization and leaching in peanut (*Arachis hypogaea*) cultivated land in the Yimeng Mountainous Area, China [J]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2012, 158(9): 164-171.
- [3] Guntinas M E, Leirós M C, Trasar-Cepeda C, et al. Effects of moisture and temperature on net soil nitrogen mineralization: A laboratory study [J]. *European Journal of Soil Biology*, 2012, 48(1): 73-80.
- [4] Liu Q J, Shi Z H, Yu X X, et al. Influence of microtopography, ridge geometry and rainfall intensity on soil erosion induced by contouring failure [J]. *Soil and Tillage Research*, 136(3): 1-8.
- [5] 刘目兴, 王静爱, 刘连友, 等. 旱作农田不同结构垄作的生态生产效益研究 [J]. *水土保持学报*, 2005, 19(6): 114-118.
- [6] 熊又升, 徐祥玉, 张志毅, 等. 垄作免耕影响冷浸田水稻产量及土壤温度和团聚体分布 [J]. *农业工程学报*, 2014, 30(15): 157-164.
- [7] 王海明, 李贤伟, 陈治谏, 等. 三峡库区坡耕地粮经果复合垄作对土壤侵蚀与养分流失的影响 [J]. *水土保持学报*, 2010, 24(3): 1-5.
- [8] Wang X K, Li Z B, Xing Y Y. Effects of mulching and nitrogen on soil temperature, water content, nitrate-N content and maize yield in the Loess Plateau of China [J]. *Agricultural Water Management*, 2015, 161(1): 53-64.
- [9] 刘战东, 高阳, 刘祖贵, 等. 降雨特性和覆盖方式对麦田土壤水分的影响 [J]. *农业工程学报*, 2012, 28(13): 113-120.
- [10] 漆婧华, 张峰, 王莺, 等. 黄土高原半干旱区覆膜玉米农田氮变化动态研究 [J]. *草业学报*, 2014, 23(5): 13-23.
- [11] Gan Y T, Siddique K H M, Turner N C, et al. Ridge-furrow mulching systems: An innovative technique for boosting crop productivity in semiarid rain-fed environments [J]. *Advances in Agronomy*, 2013, 118: 429-476.
- [12] Liu Y, Tao Y, Wan K Y, et al. Runoff and nutrient losses in citrus orchards on sloping land subjected to different surface mulching practices in the Danjiangkou Reservoir area of China [J]. *Agricultural Water Management*, 2012, 110(3): 34-40.
- [13] 劳家桢. 土壤农化分析手册 [M]. 北京: 农业出版社, 1988: 241-253.
- [14] 江源, 章昇平, 杨艳刚, 等. 放牧对五台山高山、亚高山草甸植被—土壤系统耦合的影响 [J]. *生态学报*, 2010, 30(4): 837-846.
- [15] Zand-Parsa Sh, Sepaschah A R, Ronaghi A. Development and evaluation of integrated water and nitrogen model for maize [J]. *Agricultural Water Management*, 2006, 81(3): 227-256.
- [16] 刘冬碧, 张小勇, 巴瑞先, 等. 鄂西北丹江口库区大气氮沉降 [J]. *生态学报*, 2015, 35(10): 3419-3427.
- [17] Anikwe M A N, Mbah C N, Ezeaku P I, et al. Tillage and plastic mulch effects on soil properties and growth and yield of cocoyam (*Colocasia esculenta*) on an ultisol in southeastern Nigeria [J]. *Soil and Tillage Research*, 2007, 93(2): 264-272.
- [18] 汪景宽, 刘顺国, 李双异. 长期地膜覆盖及不同施肥处理对棕壤无机氮和氮素矿化率的影响 [J]. *水土保持学报*, 2006, 20(6): 107-110.
- [19] 伍玉鹏, 邓婵娟, 姜炎彬, 等. 长期施肥对水稻土有机氮组分及氮素矿化特性的影响 [J]. *农业环境科学学报*, 2015, 34(10): 1958-1964.
- [20] 张珊, 李玉, 车克钧, 等. 祁连山东段青海云杉林区土壤氮矿化与土壤因子的相关性 [J]. *水土保持学报*, 2016, 30(5): 218-223.

(上接第 276 页)

- [16] 刘小虎, 邢岩, 赵斌, 等. 施肥量与肥料利用率关系研究与应用 [J]. *土壤通报*, 2012, 43(1): 131-135.
- [17] Jia W, Zhang J. Stomatal movements and long-distance signaling in plants [J]. *Plant Signaling and Behavior*, 2008, 3(10): 772-777.
- [18] Dorlodot S D, Forster B, Pagès L, et al. Root system architecture: Opportunities and constraints for genetic improvement of crops [J]. *Trends in Plant Science*, 2007, 12(10): 474-481.
- [19] Peer W A, Blakeslee J J, Yang H, et al. Seven things we think we know about Auxin transport [J]. *Molecular Plant*, 2011, 4(3): 487-504.
- [20] Petersson S V, Johansson A I, Kowalczyk M, et al. An auxin gradient and maximum in the Arabidopsis root apex shown by high-resolution cell-specific analysis of IAA distribution and synthesis [J]. *Plant Cell*, 2009, 21(6): 1659-1668.
- [21] Grieneisen V A, Xu J, Maree A F, et al. Auxin transport is sufficient to generate a maximum and gradient guiding root growth [J]. *Nature*, 2007, 449 (7165): 1008-1013.
- [22] Ni J, Wang G H, Zhu Z X, et al. OsIAA23-mediated auxin signaling defines postembryonic maintenance of QC in rice [J]. *Plant Journal for Cell & Molecular Biology*, 2011, 68(3): 433-442.
- [23] Ding Z, Friml J. Auxin regulates distal stem cell differentiation in Arabidopsis roots [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010, 107(26): 12046-12051.