

栽培模式、施氮量对旱作春玉米农田 矿质氮和产量的影响

张悦¹, 岳善超², 李婷¹, 李世清^{1,2}

(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: 研究了旱地不同栽培模式(全膜双垄沟和传统种植模式)和施氮量(0、170、200、230 kg·hm⁻²)对春玉米生长期间矿质氮和产量的影响。结果表明:不同处理条件下,硝态氮主要分布在 0~40 cm 土层,施氮量越高土壤中硝态氮的含量也就越高,随土层深度增加硝态氮含量降低;不同栽培模式对土壤中硝态氮的分布有明显影响,全膜双垄沟模式有助于玉米植株高效吸收利用土壤中的氮素,施氮量为 0、170、200、230 kg·hm⁻²处理的吸氮量分别提高了 89.3%、51.1%、66.6% 和 102.8%,所有处理的吸氮量平均提高 77.4%,从而减少土壤硝态氮的残留,而传统种植模式的玉米植株利用土壤氮素效率低,易造成硝态氮残留在土壤中,当遇到强降雨时硝态氮的淋洗现象严重,将硝态氮迁至作物无法吸收利用的土壤深度,造成资源浪费;而铵态氮在土壤中不易迁移,施氮量、栽培模式及玉米不同生育时期对铵态氮在土壤剖面中的分布几乎没有影响;玉米的植株吸氮量与玉米产量成正比,施氮处理植株吸氮量与产量显著高于不施氮处理,但是不同施氮处理间的差异不显著。全膜双垄沟模式下春玉米的最佳施氮量为 200 kg·hm⁻²,而传统种植模式下的最佳施氮量为 170 kg·hm⁻²,且在干旱地区宜采用全膜双垄沟栽培模式种植春玉米。

关键词: 栽培模式;施氮量;硝态氮;产量;氮肥表观损失;氮肥利用率

中图分类号: S513.04; S513.06 **文献标志码:** A

Effects of cultivation patterns and nitrogen fertilization on mineral nitrogen and yield of dryland spring maize

ZHANG Yue¹, YUE Shan-chao², LI Ting¹, LI Shi-qing^{1,2}

(1. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau,
Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: A field experiment was carried out to study the effects of different cultivation patterns (the whole film double furrow mode and traditional planting pattern) and nitrogen application rate (0, 170, 200, 230 kg·hm⁻²) on the soil mineral nitrogen and grain yield of spring maize. The results showed that in the 0~200 cm soil profile, soil nitrate content was decreased as the depth of soil layers increased and the soil nitrate was mainly distributed in the 0~40 cm soil profile. With the increase of nitrogen application, soil nitrate content became increased. Different cultivation patterns had significant influences on the distribution of nitrate in soil. Compared to the traditional planting pattern, the whole film double furrow planting pattern reduced the soil nitrate due to the ability improvement of the plant N uptake from the soil. The N uptake of treatment N0, N170, N200, N230 were increased by 89.3%, 51.1%, 66.6% and 102.8%, with an average of 77.4%. In contrast to the soil nitrate, the ammonium in the soil was changed very slightly and was not affected by the amount of nitrogen application, cultivation patterns or different growth stages of spring maize. Compared to the traditional planting pattern, the whole film double furrow planting pattern could significantly improve grain yield and plant N uptake. In summary, the optimum nitrogen application rate of the whole film double furrow mode was 200 kg·hm⁻²,

收稿日期: 2015-01-14

基金项目: 国家自然科学基金(41401343)资助

作者简介: 张悦(1988—), 女, 河北石家庄人, 硕士研究生, 主要从事旱地作物高产高效研究。E-mail: zhangyuetl@163.com。

通信作者: 岳善超, 男, 博士, 主要从事旱作农业及植物营养研究。E-mail: yueshanchao@ms.iswc.ac.cn。

while the traditional planting pattern was $170 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. In conclusion, the whole film double furrow mode was more suitable for spring maize in dryland regions.

Keywords: cultivation patterns; amount of nitrogen application; nitrate; yield; apparent loss of nitrogen fertilizer; nitrogen use efficiency

黄土高原气候较干旱,降水是黄土高原地区水资源的主要补给来源^[1-2]。年降雨量少而集中,时空分布极不均匀(主要集中在7-9月),而田间蒸发量大,使得水分成为该地区限制农作物生长的主要因素。王麒麟等^[3]对黄土高原近50年的降水变化特征研究表明,黄土高原地区缺水情形将会更为严峻,因暴雨导致的剧烈水土流失仍不会有明显缓解。因此,如何高效利用有限的降水资源是提高黄土高原农作物产量的关键。而地膜覆盖能够保蓄休闲期降雨,提高早春季节土壤含水量,减少土面无效蒸发,促进土壤水分的有效利用^[4-7]。此外,黄土高原地区早春温度偏低,昼夜温差较大,而玉米播种后种子在 $6^{\circ}\text{C} \sim 7^{\circ}\text{C}$ 时开始萌动,但发芽缓慢,地温在 10°C 以上时出苗才较快, $20^{\circ}\text{C} \sim 24^{\circ}\text{C}$ 时,根系生长健壮。杨祁峰^[8]等进行了不同覆膜方式的研究,结果表明各种方式的覆盖均能提高土壤温度,但以全膜双垄沟栽培方式提高温度幅度最大,而且该栽培方式耕层地温最适宜玉米根系的生长。

氮是所有生物体都必不可少的元素,对植物来说,氮是最重要又是最难管理的营养元素^[9]。其中,矿质氮(硝态氮和铵态氮)是作物根系吸收氮的主要形式^[10]。西欧一些国家一般以土壤矿质氮作为推荐施肥的依据^[11-13]。然而,近年来玉米氮肥不合理施用问题越来越严重,氮肥施用量与不足同时并存,这不仅导致氮肥利用率低下,肥料增产效益下降,同时更造成了水体的污染,对生态环境构成潜在威胁,直接影响到农田系统的可持续利用^[14-15]。

本试验主要研究了地膜覆盖和施氮对春玉米生长季节农田矿质氮的动态变化的影响,以期在保证玉米高产的前提下寻求最佳施氮量,为旱地春玉米的合理施肥提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在中国科学院水利部水土保持研究所所长武农业生态试验站进行,试验站位于黄土高原中南部陕甘交界处陕西省咸阳市长武县洪家镇王东村,北纬 $35^{\circ}12'$,东经 $107^{\circ}40'$,海拔1200 m,属暖温带半湿润大陆性季风气候,年均降水584 mm,年均气温 9.1°C ,无霜期171 d,地下水埋深50~80 m,属典型

旱作农业区。地貌属高原沟壑区,塬面和沟壑两大地貌单元各占35%和65%。地带性土壤为黑垆土,系统分类名称为筒育干润均腐土(Hap-UsticIsohumisol),土体结构均匀疏松,是黄土高原沟壑区典型代表性土壤。试验地0~20 cm土层土壤有机质含量为 $13.92 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,土壤全氮含量 $0.97 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,硝态氮含量 $10.79 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,铵态氮含量为 $2.14 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效磷含量 $11.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,pH值为8.36。

1.2 试验设计

试验包含两个试验因素,即氮肥施用量和栽培模式。氮肥施用量分4个水平,分别为0(N0)、170(N170)、200(N200) $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和230(N230) $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。栽培模式采用全膜双垄沟和传统种植两种模式,所谓的全膜双垄沟(图1)即大垄宽60 cm,高5 cm,小垄宽40 cm,高15 cm,周年覆膜;为减少其他因素的影响,传统种植模式也采用同样的垄作方式种植。所有试验处理设置3个重复,小区面积为 30 m^2 ,采用完全随机区组试验方案。供试玉米品种为‘先玉335’,种植密度为 $80000 \text{ 株} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

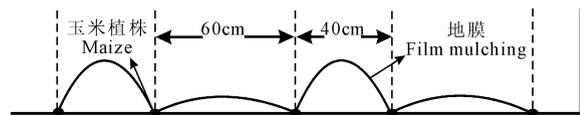


图1 全膜双垄沟模式

Fig.1 Scheme of the whole film double furrow

氮肥分3次施入,基肥和种肥一次施入,八叶期和吐丝期分别追肥,3次的比例为4:3:3,氮肥为含氮量46%的尿素。磷肥和钾肥做基肥和种肥,一次性施入。磷肥为含 P_2O_5 12%的过磷酸钙,施用量为 $\text{P} 40 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;钾肥为含 K_2O 45%的硫酸钾,施用量为 $\text{K} 80 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

于2013年4月24日播种,2013年9月10日收获记产,玉米生育期降水量为413.3 mm。玉米生长期间按时进行定苗、除草及追肥等田间管理,农田水分来源为天然降水。

1.3 测定项目与分析方法

1.3.1 土壤硝态氮和铵态氮的测定 在春玉米播种前(PT)、八叶期(V8)、吐丝期(R1)、乳熟期(R3)和完熟期(R6),在小区内取0~200 cm土样,分为10层,每20 cm一层。

土样采集后,一部分立即用烘干法测定土壤含水量,另一部分新鲜土样带回实验室测定土壤硝态氮和铵态氮含量。测定步骤:称取 5.00 g 土壤鲜样,加入 50 mL 浓度为 $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 KCl 溶液, 25°C 、 $200 \text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ 条件下震荡 1 h 后过滤,浸提液冷藏保存或立即用流动分析仪 SYSLYZER 3000 测定土壤硝态氮和铵态氮含量。

1.3.2 玉米植株氮吸收量的测定 在玉米收获时期(R6),取植物样品,每小区取 3 株。样品取回后在 105°C 杀青 30 min 后,温度降至 70°C 烘干,称重。粉碎后采用凯氏定氮法测定植株全氮含量。

1.3.3 相关指标计算公式

(1) 土壤剖面不同层内硝态氮、铵态氮含量:

$$A = p \times (50 + v) / m$$

式中, A 为硝态氮、铵态氮含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$); p 为硝态氮、铵态氮测定浓度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); 50 为浸提液体积(mL); v 为 5 g 鲜土含水体积(mL); m 为烘干土质量(g)。

(2) 土壤剖面不同层内硝态氮、铵态氮累积量:

$$A = h \times \rho \times p \times 10/100$$

式中, A 为硝态氮、铵态氮累积量($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$); ρ 为土壤容重($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$); h 为土层厚度(cm); p 为硝态氮、铵态氮浓度($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

(3) 其他指标计算公式

氮表观矿化($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) = 不施氮区地上部吸氮量 + 收获后土壤 NO_3^- - 播前土壤 NO_3^-

氮表观损失($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) = 播前土壤 NO_3^- + 施氮量 + 表观矿化量 - 施氮区地上部吸氮量 - 收获后土壤 NO_3^-

氮肥利用率(%) = (施氮区地上部分氮累积量 - 不施氮区地上部分氮累积量) / 施氮量 $\times 100\%$

1.3.4 数据处理 利用 Excel 2007 和 SPSS 19.0 软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式下施氮量对土壤硝态氮时空分布的影响

全膜双垄沟处理条件下(图 2),从整体来看随施氮量增加土壤硝态氮含量也增加,且主要分布在 0~40 cm 的土层,随深度的增加硝态氮含量减少。其中 V8 时期, N_0 处理 0~40 cm 土层的硝态氮含量显著低于其他 3 个氮处理($P < 0.05$),其他土层均无显著差异。V8 采样后追施氮肥, R1 时期的土样分析表明施氮量高的处理残留的硝铵态氮也主要残留在 40 cm 以上土层,下层无显著差异。R1 采样后

追施氮肥,之后由于较大的强降雨(7月22日,降雨 120 mm),使得玉米到 R3 时期时,除不施氮处理外其他处理的下层土壤中硝态氮含量有一定的增加,但未达到显著程度。到玉米收获时,下层土壤中硝态氮的含量有所减少,但不施氮处理的硝态氮含量最少。玉米的各个生育期,可以看出不施氮处理与施氮处理在 0~20 cm 土层的硝态氮含量有显著差异($P < 0.05$),但施氮处理之间的无显著差异。

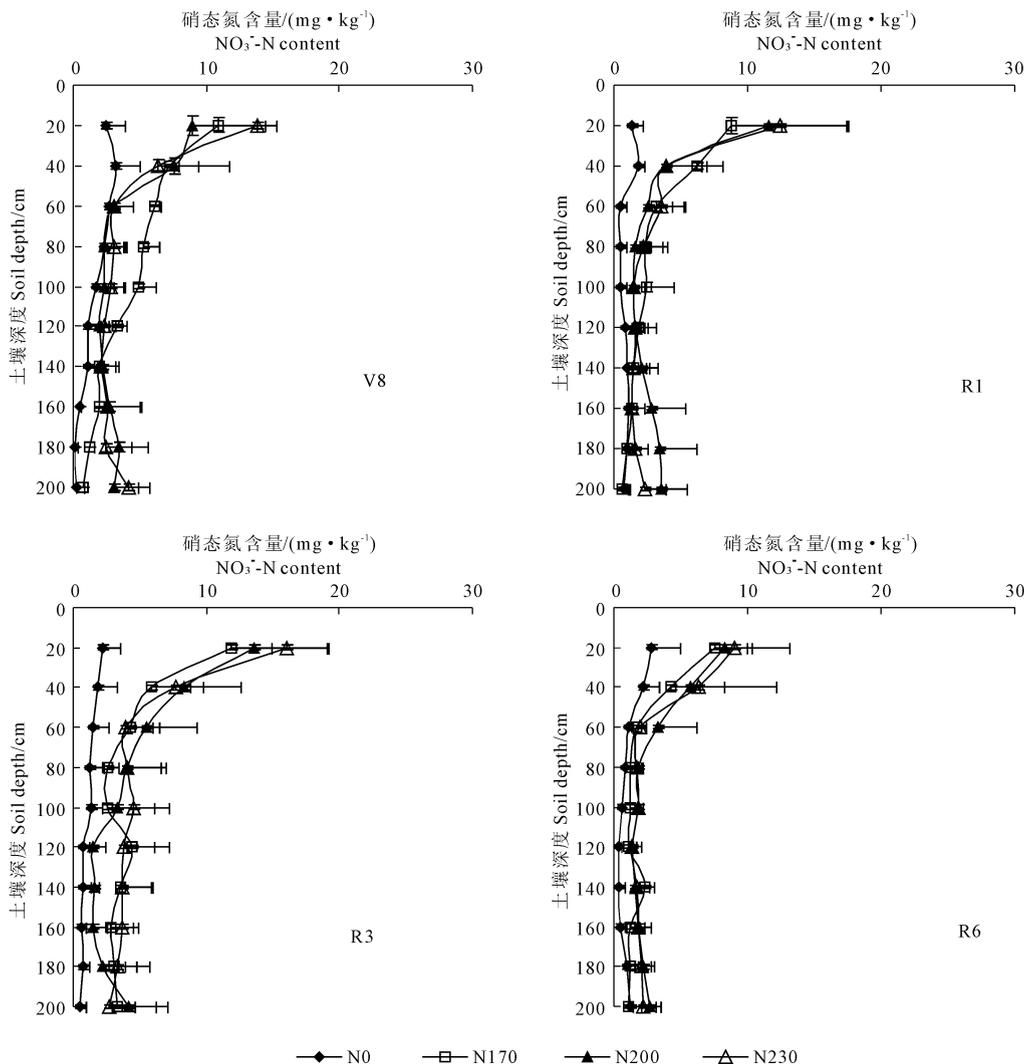
传统种植条件下(图 3),V8 时期各处理的土壤硝态氮主要分布在 0~20 cm 土层,硝态氮含量为 $\text{N}_{230} > \text{N}_{200} > \text{N}_{170} > \text{N}_0$,且 N_{230} 处理在该土层的硝态氮含量显著高于其他 3 个处理($P < 0.05$), N_{200} 与 N_{170} 处理在该土层的硝态氮含量显著高于 N_0 处理($P < 0.05$),而 20~200 cm 土层间,各处理的硝态氮含量随深度增加而减少,无显著差异。V8 采土样后追施氮肥,到 R1 时期,由于强降雨的影响(7月22日降雨 120 mm,7月23日采集土壤样品),导致施氮处理 0~80 cm 土层出现不同程度的硝态氮淋洗现象,使得施氮处理硝态氮含量显著高于不施氮处理($P < 0.05$), N_{170} 和 N_{200} 处理的硝态氮主要淋洗到 60 cm 的土层深度, N_{230} 处理主要淋洗到 80 cm 的土层深度,不施氮处理没有淋洗现象。R1 采样后追施氮肥,到 R3 时期时,表层硝态氮含量依然是 $\text{N}_{230} > \text{N}_{200} > \text{N}_{170} > \text{N}_0$,然后随深度增加硝态氮含量减少, N_0 、 N_{170} 、 N_{200} 在 40~200 cm 深度的硝态氮含量差异不显著,但 N_{230} 处理的硝态氮含量在 60 cm 土层突然增高,80 cm 土层深度处出现峰值,然后逐渐降低,40~140 cm 土层深度的硝态氮含量与其他 3 个处理差异显著($P < 0.05$),这是强降雨造成的高氮处理的硝态氮淋洗现象,160~200 cm 深度的硝态氮含量与其他 3 个处理无显著差异。到收获期 R6 时,不施氮处理硝态氮含量最低,而高氮处理仍有明显的硝态氮淋洗现象,硝态氮主要淋洗到 80~120 cm 土层间,与其他 3 个处理达到显著水平($P < 0.05$),140~200 cm 土层相对于其他处理也有明显的淋洗现象,但未达到显著水平。

2.2 不同栽培模式下施氮量对铵态氮在土壤剖面中分布的影响

李生秀等^[16]研究表明,铵态氮在土壤中不易迁移。本试验结果表明,铵态氮含量在不同处理条件下变动很小,在全膜双垄沟处理条件下(图 4),施氮对土壤中铵态氮的含量并没有显著影响,而随土层深度增加,铵态氮的分布也无明显规律。玉米各生育期的铵态氮含量都很低,铵态氮含量范围在 $0.58 \sim 6.06 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 之间, R3 时期铵态氮含量稍高,这

可能是强降雨造成的。到玉米收获期,铵态氮的含

量最低,低于 $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。



注: V8—八叶期; R1—吐丝期; R3—乳熟期; R6—完熟期。下同。

Note: V8—eighth leaf; R1—silking; R3—milk; R6—physiological maturity. The same below.

图 2 全膜双垄沟栽培模式下施氮量对土壤硝态氮时空分布的影响

Fig.2 Effects of nitrogen application rate on soil nitrate distribution with the whole film double furrow cultivation pattern

传统种植条件下(图 5),施氮对土壤中铵态氮的含量没有显著影响,铵态氮含量均处于较低水平, V8、R1、R3 时期的铵态氮含量稍高,含量范围为 $2.67 \sim 6.92 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,且各处理间的铵态氮含量无显著差异,玉米收获时,铵态氮含量最低,各处理的铵态氮含量均低于 $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

试验结果表明,氮肥施用量、栽培模式或玉米不同生育时期对铵态氮在土壤剖面中的分布影响很小,在同一处理的土壤剖面中,不同土层间也无明显差异。

2.3 不同栽培模式下施氮量对土壤中硝态氮累积量的影响

表 1 为全膜双垄沟栽培模式种植的春玉米收获后不同土层的硝态氮累积量。

表 1 全膜双垄沟模式下各处理不同土层的硝态氮累积量/ $(\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2})$

Table 1 Soil nitrate accumulation by different treatments under the whole film double furrow pattern

处理 Treatments	0 ~ 40 cm	40 ~ 100 cm	100 ~ 200 cm	0 ~ 200 cm
N0	13.2c	6.7b	8.7a	28.7b
N170	31.6b	11.3a	17.4a	60.3a
N200	37.1ab	19.0a	24.4a	80.5a
N230	49.7a	14.6a	23.2a	87.5a

注:同列数据后不同字母表示在 0.05 水平上差异显著 ($P < 0.05, LSD$),下同。

Note: Different letters in the same column represent significant differences among the treatments at $P < 0.05$. The same below.

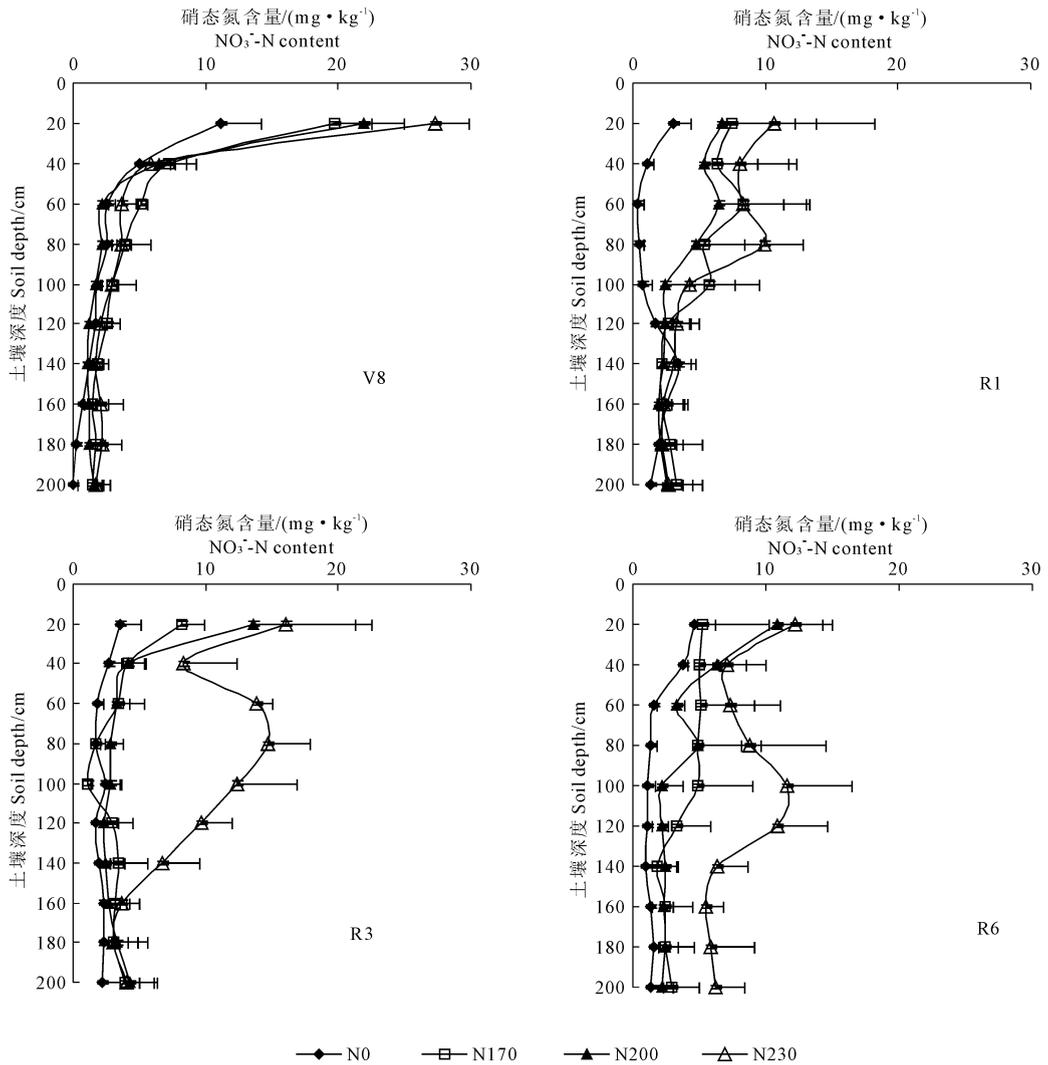


图 3 传统种植栽培条件下施氮量对土壤硝态氮时空分布的影响

Fig. 3 Effects of nitrogen application rate on soil nitrate accumulation distribution by the traditional planting cultivation

从表 1 中看出,硝态氮主要分布在 0~40 cm 的土层,N0、N170、N200 和 N230 处理 0~40 cm 土层的硝态氮累积量分别占 0~200 cm 土层总累积量的 46.0%、52.4%、46.1%、56.8%,是玉米所吸收氮素的主要供应层。不施氮处理在 40~100 cm 土层的硝态氮累积量与施氮处理有显著差异,施氮处理间无差异。各处理在 100~200 cm 土层的硝态氮累积量无差异。施氮处理在 0~200 cm 土层的硝态氮累积量显著高于不施氮处理,而施氮处理之间无显著差异。

表 2 为传统种植模式下的春玉米收获后不同土层的硝态氮累积量,传统种植模式下各土层硝态氮的累积量都比全膜双垄沟模式下的累积量高,这是因为传统种植模式下玉米吸收量少,使残留在土壤中的硝态氮多。N0、N170、N200、N230 处理在 0~40 cm 土层的硝态氮累积量较低,分别占 0~200 cm 土层总累积量的 45.2%、27.5%、41.2%、26.8%,尤其

表 2 传统种植模式下各处理不同土层的硝态氮累积量/(kg·hm⁻²)

Table 2 Soil nitrate accumulation by different treatments under the traditional planting pattern

处理 Treatments	0~40 cm	40~100 cm	100~200 cm	0~200 cm
N0	22.3b	10.9b	16.1b	49.3b
N170	27.6b	39.9ab	32.8b	100.2b
N200	40.5ab	27.9ab	30.0b	98.3b
N230	59.4a	74.1a	88.1a	221.6a

是 N230 处理,硝态氮总累积量最多,达到 221.6 kg·hm⁻²,0~40 cm 的硝态氮累积量仅占总累积量的 26.8%,而 40~100 cm 土层的硝态氮累积量占 0~200 cm 土层总累积量的 33.4%,100~200 cm 土层的硝态氮累积量占总累积量的 39.8%,有明显的硝态氮淋洗现象。N230 处理 0~200 cm 土层的累积量显著高于其他处理,所以对于传统种植处理该施

氮量是过量的。

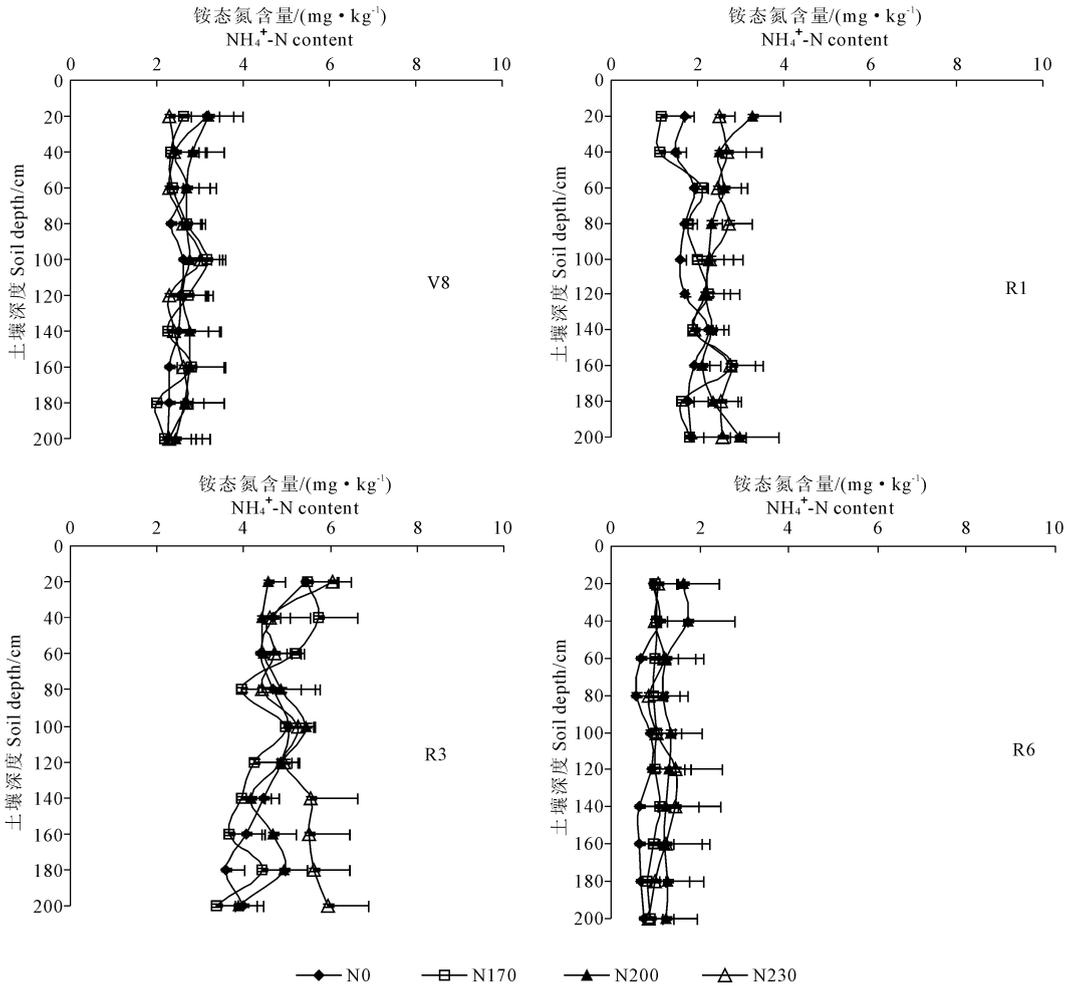


图 4 全膜双垄沟栽培模式下施氮量对土壤铵态氮时空分布的影响

Fig. 4 Effects of nitrogen application rate on soil ammonium distribution with the whole film double furrow cultivation patterns

2.4 不同施氮量下玉米产量及植株吸氮量

从产量方面来看,同种栽培模式下,随施氮量的增加,玉米产量也随之增加(表 3),但是这种增加并不是无限制的,传统种植模式下施氮量超过 170 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时,产量增加的不显著,施氮 230 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 条件下产量反而降低,这可能是由于施氮过量造成的玉米倒伏的结果;全膜双垄沟模式条件下随施氮量增加玉米产量也增加,但不同施氮处理之间无显著差异。全膜双垄沟处理的产量显著高于传统种植处理,这进一步证明了覆膜栽培的优越性。从玉米植株吸氮量方面来看,随施氮量增加,玉米植株的吸氮量也随之增加,且全膜双垄沟处理的植株吸氮量显著高于传统种植处理(表 3)。在传统种植处理条件下,施氮处理的植株吸氮量显著高于不施氮处理,施氮处理间无显著差异,但施氮 230 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 时吸氮量减少,这可能也是玉米倒伏造成的;全膜双垄沟处理条件下,N0 处理与 N170 处理的植株吸氮量无显著

差异,但与 N200、N230 的植株吸氮量差异达到显著水平。

表 3 不同施氮量下玉米产量及植株吸氮量
Table 3 Corn yield and plant nitrogen absorption by different N treatments

处理 Treatments	产量/($\text{t}\cdot\text{hm}^{-2}$) Yield		吸氮量/($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$) Nitrogen uptake	
	传统种植模式 CK	全膜双垄沟模式 FM	传统种植模式 CK	全膜双垄沟模式 FM
N0	5.15b	11.63b	101.1b	191.4c
N170	7.67a	12.42ab	142.9a	215.9bc
N200	7.69a	13.73a	149.3a	248.7ab
N230	6.04b	13.75a	138.8a	281.5a

注:CK、FM 分别表示传统种植模式(无覆盖)、全膜双垄沟模式(全膜覆盖),下同。

Note: CK and FM stand for the traditional planting pattern (non-mulching) and the whole film double furrow cultivation pattern (plastic film-mulching), and hereinafter.

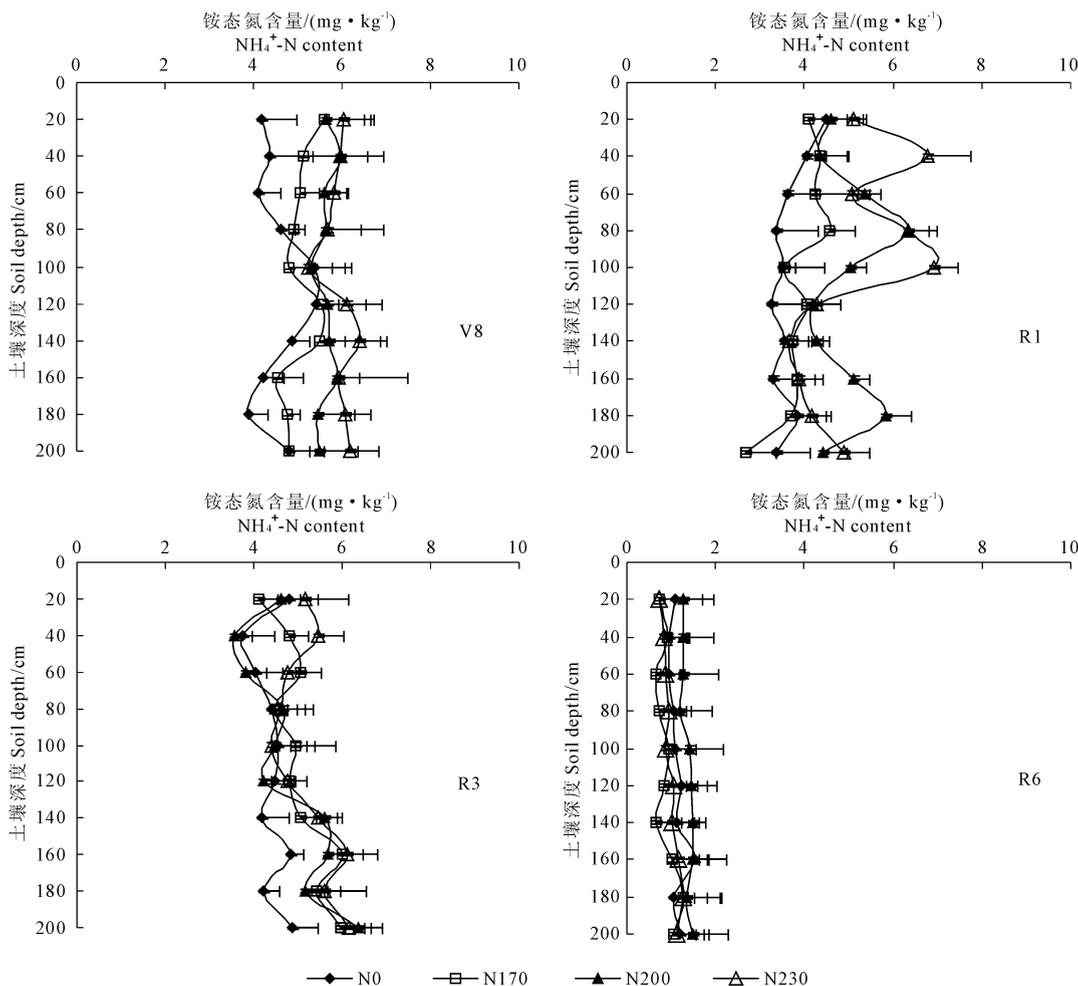


图 5 传统种植栽培条件下施氮量对土壤铵态氮时空分布的影响

Fig.5 Effects of nitrogen application rate on soil ammonium distribution by the traditional planting cultivation

2.5 不同栽培模式下的氮肥利用率及表观损失

在玉米的生长过程中,0~100 cm 的土层深度范围是玉米根系吸收养分的主要土层^[17],其中 0~100 cm 土壤的播前硝态氮累积量为 50.5 kg·hm⁻²,传统种植模式条件下的氮表观矿化为 83.9 kg·hm⁻²,全膜双垄沟模式条件下的氮表观矿化为 160.9 kg·hm⁻²。氮肥利用率的计算结果表明(表 4),在传统种植条件下施氮处理间的氮肥利用率没有显著差异,N230 处理的氮肥利用率较低,这可能是由于吐丝期玉米倒伏降低了玉米对氮肥的吸收造成的;在全膜双垄沟条件下,N230 处理的氮肥利用率显著高于 N170 处理,而 N200 处理氮肥利用率与其他两个氮肥处理无显著差异。全膜双垄沟模式的氮肥利用率显著高于传统种植模式的氮肥利用率,全膜双垄沟条件下 N170 的氮肥利用率较低,这主要是由于全膜不施氮处理的吸氮量较高。

氮肥表观损失的计算结果表明(表 4),在传统种植下,玉米收获后 N170 处理的氮肥表观损失显著低于 N200 与 N230 处理,在全膜双垄沟下,N170 处

理显著高于 N230 处理,而 N200 处理与其他两个施氮处理无显著差异。

表 4 玉米全生育期 0~100 cm 土层氮肥利用率及表观损失
Table 4 The nitrogen use efficiency and N apparent loss in 0~100 cm soil profile during corn growth period

处理 Treatments	氮肥利用率/% Nitrogen use efficiency		氮肥表观损失/(kg·hm ⁻²) N apparent loss	
	传统种植模式 CK	全膜双垄沟模式 FM	传统种植模式 CK	全膜双垄沟模式 FM
N0	—	—	—	—
N170	24.6a	14.4b	94.0b	122.6a
N200	24.1a	28.6ab	116.7a	106.6ab
N230	16.4a	39.2a	100.3a	95.6b

3 讨论

3.1 全膜双垄沟栽培模式的增产效果与植株吸氮量的提高

全膜双垄沟播技术集覆盖抑蒸、垄沟集雨、垄沟

种植技术为一体,实现了保墒蓄墒、就地入渗和雨水富集的效果,适用于干旱地区玉米的种植,并能使玉米等作物增产 30% 以上^[18]。有研究表明^[19],在 2006 年甘肃省中东部 14 个旱作农业区示范全膜双垄沟播技术推广试验中,玉米的产量较对照平均增产 38.6%。张雷等^[20]在榆中县清水驿乡开展的玉米不同覆膜模式试验,结果得出:全膜双垄沟播较垄作条膜覆盖栽培玉米产量净增 2 444.2 kg·hm⁻²,增产 37.9%。而本试验结果也表明,全膜双垄沟模式种植的玉米较传统栽培模式也均有增产效果,其中 N0 处理增产 125.8%,N170 处理时增产 61.9%,N200 处理时增产 78.5%,N230 处理时增产 127.6%,所有处理平均增产 98.45%,效果非常显著。

产量的增加与玉米植株吸氮量的提高有着密不可分的关系,本试验结果表明,全膜双垄沟模式种植的玉米较传统栽培模式的吸氮量也都有提高,其中 N0 处理的吸氮量提高 89.3%,N170 处理提高 51.1%,N200 处理提高 66.6%,N230 处理提高 102.8%,所有处理的吸氮量平均提高 77.4%,有效地提高了旱作春玉米的吸氮量,进而提高氮肥利用率,减少氮肥资源的浪费。

3.2 全膜双垄沟栽培模式对氮肥表观矿化的影响

栽培措施可以改变作物生长的微环境,如土壤温度、水分情况等,因而也会影响土壤中氮的存在形态及分布。Stanford 等^[21]证明在一定温度范围内(-4℃~40℃),随温度的升高,氮矿化数量和矿化速率均会增加。Jennifer 等^[22]的研究表明,温度在 25℃~35℃之间时氮矿化量最大,土壤水分含量高时氮矿化量也会增大。而覆膜可以增加土壤温度、提高土壤水分、提高土壤微生物的活性等,进而促进氮素的矿化。关维刚等^[23]研究表明,氮矿化量的大小为覆膜>覆草>常规,其中覆膜的氮矿化量是常规的 2.24 倍,覆草的氮矿化量是常规的 2.15 倍。而在本试验中,不施氮时,传统栽培模式下的氮表观矿化为 83.9 kg·hm⁻²,全膜双垄沟模式条件下的氮表观矿化为 160.9 kg·hm⁻²,全膜双垄沟模式下的氮矿化量是传统栽培模式下的 1.92 倍。结果表明,覆盖能促进土壤中氮素的矿化,进而使玉米植株充分利用土壤中的氮素。

3.3 全膜双垄沟栽培模式对氮肥利用的影响

王喜庆^[23]等研究认为,地膜覆盖后能使氮肥肥效明显提高。但也有研究表明,地膜覆盖后,反而使氮肥利用效率下降。Al - Assi 等^[24]的研究表明,地膜覆盖能使土壤有机氮的矿化速率增加,使得土壤中硝态氮含量显著增加,从而导致氮肥肥效不明

显。例如本试验中,全膜双垄沟模式下 N170 的氮肥利用率仅为 14.4%,这是因为不施氮条件下全膜双垄沟模式的土壤氮矿化多,进而使玉米植株吸氮量高,降低了氮肥利用效率;而 N200 和 N230 处理的氮肥利用率则随着覆膜而提高。总的来说,覆膜提高了氮肥的利用效率,使收获后全膜双垄沟栽培模式下的土壤硝态氮含量保持在较低的含量,即仅施氮处理的表层硝态氮含量接近 10 mg·kg⁻¹,下层土壤的硝态氮含量几乎都在 5 mg·kg⁻¹以下。相反的,在传统栽培模式条件下,玉米收获后硝态氮的含量仍比较高,尤其是 N230 处理的下层土壤中硝态氮浓度较高,造成硝态氮的累积,易导致硝态氮的淋溶。

适宜的氮肥施用量能够提高玉米产量,但这种增产效果并不是无限制的。对于全膜双垄沟处理来说,施氮量为 200 kg·hm⁻²时,玉米的产量、植株吸氮量、氮肥利用率与施氮量为 230 kg·hm⁻²时均无显著差异,综合这些因素来考虑,施氮 200 kg·hm⁻²为全膜双垄沟条件下的最佳施氮量。在玉米的传统栽培模式下,施氮量为 200 kg·hm⁻²时的玉米植株吸氮量和产量等虽然高于施氮量 170 kg·hm⁻²,但并未达到显著的程度,而施氮 230 kg·hm⁻²时玉米植株的吸氮量、产量、氮肥利用率等都低于 170 kg·hm⁻²,但尚未达到显著程度,这可能是由于施氮量过高引起的玉米倒伏造成了产量的下降,所以对于玉米的传统栽培模式来说施氮 170 kg·hm⁻²是最佳施氮量。

4 结 论

全膜双垄沟栽培模式能显著提高玉米产量、玉米植株吸氮量及氮肥利用率,减少土壤中硝态氮的累积;而传统种植模式的玉米植株的氮肥利用率低,易造成硝态氮残留在土壤中,当遇到强降雨时硝态氮的淋洗现象严重,使硝态氮迁移至玉米植株难以利用的深度,造成养分浪费。玉米的植株吸氮量与玉米产量成正比,施氮处理间的植株吸氮量与产量显著高于不施氮处理,但施氮处理间的差异不显著。综合考虑,全膜双垄沟模式下春玉米的最佳施氮量为 200 kg·hm⁻²,而传统种植模式下的最佳施氮量为 170 kg·hm⁻²,且在干旱地区宜采用全膜双垄沟栽培模式种植春玉米。

参 考 文 献:

- [1] 李 锐,杨文治,李壁成,等.中国黄土高原研究与展望[M].北京:科学出版社,2008.
- [2] 钱林青.黄土高原气候[M].北京:气象出版社,1991.
- [3] 王麒翔,范晓辉,王孟本.近 50 年黄土高原地区降水时空变化

- 特征[J].生态学报,2011,31(19):5512-5523.
- [4] Easson DL, Fearehough W. Effects of plastic mulch, sowing date and cultivar on the yield and maturity of forage maize grown under marginal climatic conditions in Northern Ireland[J]. Grass Forage Sci, 2000,55(3):221-231.
- [5] 杜社妮,白岗栓.玉米地膜覆盖的土壤环境效应[J].干旱地区农业研究,2007,25(5):56-59.
- [6] 李改香,刘永忠,李万星,等.旱地玉米整秆加秋盖地膜保苗壮苗技术研究[J].干旱地区农业研究,2001,19(4):22-25.
- [7] 谭军利,王林权,李生秀.地面覆盖的保水增产效应及其机理研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(3):50-54.
- [8] 杨祁峰,岳云,熊春蓉,等.不同覆膜方式对陇东旱塬玉米田土壤温度的影响[J].干旱地区农业研究,2008,26(6):29-33.
- [9] 周顺利,张福锁,王兴任.土壤硝态氮时空变异与土壤氮素表现盈亏研究[J].生态学报,2001,21(11):1782-1789.
- [10] 陶武辉,沈玉芳,李世清.施氮对黄土高原水蚀风蚀交错区土壤矿质氮的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2009,37(10):103-109.
- [11] Olf H W, Blankenau K, Brentrup F, et al. Soil and plant - based nitrogen - fertilizer recommendations in arable farming[J]. Plant Nutr Soil Sci, 2005,168(93):414-431.
- [12] Drahorad W. Guideline for apple nutrition in the south Tyrol[J]. Compact Fruit Tree, 2004,37(1):30-32.
- [13] 汤丽玲,陈清,张福锁,等.日光温室番茄的氮素追施与反调控[J].植物营养与肥料学报,2004,10(4):391-397.
- [14] 张福锁,王激清,张卫峰,等.中国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径[J].土壤学报,2008,45(5):915-924.
- [15] 朱兆良.中国土壤氮素研究[J].土壤学报,2008,45(5):778-783.
- [16] 李生秀,张志华,高亚军,等.矿质氮在土壤剖面中的分布[J].干旱地区农业研究,1993,11(增刊):141-145.
- [17] 陈小莉,李世清,王瑞军,等.半干旱区施氮和灌溉条件下覆膜对春玉米产量及氮素平衡的影响[J].植物营养与肥料学报,2007,13(4):652-658.
- [18] 刘广才,杨祁峰,李来祥,等.旱地玉米全膜双垄沟播技术增产效果研究[J].农业现代化研究,2009,30(6):739-743.
- [19] 李来祥,刘广才,杨祁峰,等.甘肃省旱地全膜双垄沟播技术研究与进展[J].干旱地区农业研究,2009,27(1):114-118.
- [20] 张雷,牛建彪,赵凡.旱作玉米双垄面集雨全地面覆膜沟播抗旱增产技术研究[J].甘肃科技,2004,20(11):174-175.
- [21] Standford G, Smith S J. Nitrogen mineralization potentials of soils[J]. Soil Sci. Soc. Am. J, 1972,36:465-472.
- [22] Jennifer D Knoepp, Wayne T Swank. Using soil temperature and moisture to predict forest soil nitrogen mineralization[J]. Biology and Fertility of soils, 2002,36:177-182.
- [23] 王喜庆,李生秀,高亚军.地膜覆盖对旱地春玉米生理生态和产量的影响[J].作物学报,1998,24(3):348-353.
- [24] Al - Assir I A, Rubeiz I G, Khoury R Y. Response of fall greenhouse cos lettuce to clear mulch and nitrogen fertilizer[J]. J. Plant Nutr, 1991,14(10):1017-1022.

(上接第73页)

- [5] 罗洮峰.加压滴管条件下土壤养分含量的变化研究[J].新疆农垦科技,2012,(8):32-33.
- [6] 张萍,黄永文,陈燕华,等.宜昌典型土壤养分含量及相关分析[J].湖北农业科学,2012,51(24):5628-5632.
- [7] 穆叶赛尔·吐地,吉力力·阿不都外力,姜逢清.天山北坡林沿土壤养分含量的区域差异特征研究[J].中国生态农业学报,2013,21(5):580-589.
- [8] 古丽娜尔·托合提,海米提·依米提,米日姑·买买提,等.伊犁河谷土壤含盐量空间变异和格局分析[J].干旱地区农业研究,2011,29(2):152-158.
- [9] 黄智刚.丘陵红壤蔗区土壤的中微量营养元素的空间变异[J].中国土壤与肥料,2006,(6):16-32.
- [10] 霍霄妮,李红,孙丹峰,等.北京耕作土壤重金属含量的空间自相关分析[J].环境科学学报,2009,29(6):1339-1344.
- [11] 张朝生,陶澍,袁贵平,等.天津市平原土壤微量元素含量的空间自相关研究[J].土壤学报,1995,32(1):50-57.
- [12] 梁二,王小彬,蔡典雄,等.河南省土壤有机碳分布空间自相关分析[J].应用生态学报,2007,18(6):1305-1310.
- [13] 刘永生.华北平原土壤重金属元素空间自相关研究[D].北京:中国地质大学,2012.
- [14] 彭世逞,陈刚.1985—2006年西昌市农田主要肥力指标变化情况[J].安徽农业科学,2008,36(35):15590-15592.
- [15] 刘永生,杨楠,王轶,等.保定—沧州地区基于空间自相关分析的土壤区域监测点网络密度研究[J].水文地质工程地质,2012,39(5):126-131.
- [16] 张新峰.空间自相关的数据分析方法与应用研究—以南海亚海啸对海洋生态因子的影响为例[D].兰州:兰州大学,2009.
- [17] 徐建华.计量地理学[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [18] 刘仲刚,李满春,刘剑锋,等.面向离散点的空间权重矩阵生成算法与实证研究[J].地理与地理信息科学,2006,22(3):53-56.
- [19] 杨奇勇,杨劲松,余世鹏,等.不同尺度下耕地土壤Cr含量的空间自相关性分析[J].应用与环境生物学报,2011,17(3):393-397.
- [20] 张朝生,章申,何建邦.长江水系沉积物重金属含量空间分布特征研究—空间自相关与分形方法[J].地理学报,1998,53(1):87-96.