不同水氮条件对岷江柏幼苗生长的影响

邵芳丽[1]，宫渊波[2]，关 灵[2]，张振恒[2]

(1. 北京林业大学 水土保持学院，北京 100083；2. 四川农业大学 林学院，四川 雅安 625014)

摘 要：采用盆栽方法，设置 2 个氮水平和 4 个水分梯度，研究了不同处理条件对岷江柏幼苗生长的影响。结果表明，在 15%，25%水分梯度上，氮肥抑制苗高生长，低氮的作用更为显著；在 5%水分梯度上，低氮使苗高略减小，高氮则使苗高略增大；在 30%水分梯度上，苗高增量随施氮量的增加而增加。在所有水分梯度上，氮肥显著地增加了苗木地径，且高氮更为显著。氮肥减小苗木高径比，在 5%，15%水分梯度上，高氮的减少量更大；在 25%，30%水分梯度上，低氮减少量更大。高氮减小各水分梯度上的根冠比，低氮在 5%，30%水分梯度上减小根冠比，在 15%，25%水分梯度上则增大根冠比。在 5%水分梯度上，氮肥使苗木质量指数略有增大，且低氮较高氮作用明显；在 15%水分梯度上，低氮略增大苗木质量指数，高氮略减小苗木质量指数；在 25%，30%水分梯度上，苗木质量指数随施氮量的增大而减小。

关键词：氮肥；水分梯度；幼苗；生长指标

文献标识码：A **文章编号**：1000-288X(2012)01-0045-05 **中图分类号**：Q948

Effects of Different Moisture Gradients and N-fertilizer Levels on *Cupressus Chengiana* Seedling Growth

SHAO Fang-li[1], GONG Yuan-bo[2], GUAN Ling[2], ZHANG Zhen-heng[2]

(1. *School of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University, Beijing* 100083, *China*; 2. *College of Forestry, Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan* 625014, *China*)

Abstract: The effects of different treatments on *Cupressus chengiana* seedling growth were studied by a pot experiment with 2 N-fertilizer levels and 4 moisture gradients. Results showed that at the 15% and 25% moisture gradients, N-fertilizer restrained the height of seedlings and low N-fertilizer level had more significant influence; at the 5% moisture gradient, low N-fertilizer level slightly reduced the height and however, high N-fertilize level slightly increased the height; and at the 30% moisture gradient, the height increased with the increased quantity of N-fertilizer. At all the moisture gradients, N-fertilizer significantly increased the basal diameter of seedlings and high N-fertilizer level had more significant influence. N-fertilizer reduced the the height-diameter ratio of seedlings; at the 5% and 15% moisture gradients, high N-fertilizer level had more significant influence; and at the 25% and 30% moisture gradients, low N-fertilizer level had more significant influence. High N-fertilizer level reduced the root-shoot ratio of seedlings at all the moisture gradients; low N-fertilizer level reduced the ratio at the 5% and 30% moisture gradients, while increased the ratio at the 15% and 25% moisture gradients. At the 5% moisture gradient, N-fertilizer slightly increased the quality index of seedlings and the low N-fertilizer level had more significant influence; at the 15% moisture gradient, low N-fertilizer level slightly increased the index and high N-fertilizer level slightly reduced the index; and at the 25%, 30% moisture gradients, the index increased with increased quantity of N-fertilizer.

Keywords: N-fertilizer; moisture gradient; seedling; growth index

岷江柏(*Cupressus chengiana* S. Y. Hu)作为岷江干旱河谷区的主要乡土树种，在该区的植被建设和生态恢复中有着重要作用。岷江干旱河谷区岩层破碎，地表风化较强，现代地貌过程十分活跃，光、热、水在垂直方向上发生明显的变化，垂直气候显著，波动性大，降水的限制作用十分突出[1]，土壤水分极为匮乏[2-3]，严重制约植物生长，从而影响植被的恢复与重建[1]，如何利用有限的水资源进行植被建设是该区生态恢复的关键。在植物的生长过程中，幼苗是植物生活史中最弱的时期，它对环境改变的反应也最为敏

收稿日期：2011-05-09 修回日期：2011-06-10
资助项目："十一五"国家科技支撑计划重大项目"长江中上游西南山区退化生态系统恢复与重建技术研究"(2006BAC01A11)
作者简介：邵芳丽(1982—)，女(汉族)，四川省雅安市人，硕士研究生，主要研究方向为林业生态工程。E-mail：yezisfl@163.com。
通信作者：宫渊波(1957—)，男(汉族)，辽宁省昌图县人，教授，主要从事水土保持和生态恢复的教学和科研工作。E-mail：gyb@sicau.edu.cn。

感[4]，只有具有环境适应能力的幼苗才能生长发育为成年植株。在干旱地区有效地提高幼苗存活率是植被恢复过程中的关键[5]。

氮素是植物生长不可缺少的重要元素，对植物的生长有着极其重要的影响。氮肥的施用不仅能补充贫瘠土壤中氮素的不足，以供给植物更好地生长，而且能够补偿干旱条件下植物生长受到的抑制，起到以肥补水的效果。氮肥对植物生长影响的研究有很多[6-10]，而对控制水、氮条件下的生长研究相对较少。因而，本试验设定了不同水分梯度和不同氮水平，研究该试验条件下的岷江柏幼苗生长情况，为干旱河谷区在有限水分条件下的造林成活率的提高提供理论依据和技术指导。

1 概 况

试验地位于四川农业大学林学院教学实验基地。试验地海拔高度 620 m，平均气温 25.3 ℃，极端最高温 37.7 ℃，极端最低温 -1 ℃，年降水量 1 774.3 mm，年蒸发量 1 011.2 mm，年均相对湿度 79%，年均日照数 1 039.6 h，年均无霜期 304 d，大于 10 ℃年积温 5 231 ℃，为亚热带湿润气候。

2 材料与方法

2.1 试验材料

试验苗木为 1 年生苗木，采自四川阿坝州林场；种植土来源于试验点附近荒山，且风干、过筛、混合，以保证土壤的均匀性；种植土全氮含量 0.206%，田间持水量 36.2%。种植盆规格为上口径 22 cm，底径 15.2 cm，高 20 cm 的塑料盆。

2.2 试验设计

在 2008 年 4 月初栽种试验苗木，苗木栽植时每盆装入 4 kg 土，并做压实处理，使容器内土壤容重接近自然状态，栽植苗木后充足浇水，使之成活并正常生长后，开始进行控水。参考岷江干旱河谷区的土壤含水量 5.96%～18.26%[11]，并结合本试验条件，设水分梯度 5%，15%，25%，30%。控水开始一周后对岷江柏施加氮肥，氮水平设为每 1 kg 土施入 0.2 g，0.6 g 氮肥（氮肥为含氮 34%的硝酸铵），其中设一组为对照组，只进行控水，不施氮肥。每盆定植 1 株，每个处理 3 次重复。盆栽苗木均放置于挡雨棚下，以防止天然降雨进入盆栽，晴天则正常光照。

2.3 测定方法

测定的苗木生长指标有：苗高、地径、茎叶干重、根干重。移植前测定苗高和地径，以后每月测定 1 次苗高和地径，时间为苗木生长季 4—11 月。苗高用直尺测定，地径用游标卡尺测定；试验结束后测定每株苗木的茎叶干重、根干重，将茎叶、根放于 80 ℃烘箱中烘干至恒重，用 1/10 000 天平测定。

土壤全氮含量的测定采用凯氏定氮法。田间持水量的测定采用环刀法。水分梯度的控制采用称重法。

2.4 数据分析

数据分析及图表制作采用 SPSS 与 Microsoft Excel。其中水分、氮肥对苗木生长指标的影响采用多因素方差分析，不同处理水平间的差异显著性用最小显著性差异法（LSD）进行多重比较检验。

3 结果与分析

岷江柏苗木处理前后的苗高、地径的变化及不同处理条件下的生物量变化（表 1）中可以看出，不同氮水平、不同水分梯度对苗木生长产生不同影响，水分是苗木生长的首要决定因子，对苗木生长影响显著，影响结果将在具体指标的分析中详细说明。

表 1 不同处理条件下的苗高、地径及生物量（平均数±标准差）

水分梯度	氮水平	苗高		地径		生物量	
		处理前	处理后	处理前	处理后	地下部分	地上部分
5%	N_0	22.54±0.10	25.04±1.06	0.387±0.001	0.468±0.003	2.32±0.26	2.98±0.97
	N_1	22.61±0.21	24.21±0.15	0.382±0.002	0.590±0.005	2.18±0.88	4.72±0.78
	N_2	22.31±0.12	25.11±0.42	0.379±0.003	0.670±0.006	1.94±0.50	2.86±0.61
15%	N_0	21.37±0.06	35.57±2.68	0.394±0.007	0.548±0.002	2.36±0.07	5.71±0.62
	N_1	23.44±3.46	33.34±5.76	0.390±0.004	0.598±0.002	2.55±0.89	5.38±1.71
	N_2	21.44±0.36	33.94±2.43	0.374±0.006	0.717±0.002	1.43±0.24	4.64±0.55
25%	N_0	20.51±1.59	45.81±8.61	0.389±0.017	0.619±0.015	11.02±0.61	14.12±0.29
	N_1	24.37±3.89	39.47±6.26	0.380±0.005	0.838±0.002	7.01±1.51	7.60±1.23
	N_2	22.44±0.20	43.54±4.25	0.395±0.004	0.731±0.003	3.96±0.65	11.32±1.96
30%	N_0	24.47±0.38	36.07±3.42	0.393±0.015	0.609±0.015	8.31±2.01	9.16±0.69
	N_1	22.44±0.17	38.24±2.00	0.388±0.004	0.728±0.003	4.63±1.66	9.06±1.66
	N_2	20.41±7.32	39.61±12.17	0.389±0.003	0.729±0.002	3.67±2.44	7.30±3.02

注：N_0 为未施氮；N_1 为低氮水平；N_2 为高氮水平。

对不同处理条件下的苗木生长指标进行方差分析(表 2),结果表明,水分梯度对本试验选用的所有生长指标均有显著影响($p<0.01$);氮肥除对苗高增量影响不显著外,对其他生长指标均有显著影响($p<0.01$);水氮交互作用对苗木地径增量、根冠比在 0.01,0.05 水平上有显著影响,而对苗高增量、高径比和苗木质量指数影响不显著。对不同处理条件下有显著影响的指标,用 LSD 法进行多重比较检验。

表 2　不同处理条件下苗木生长指标的方差分析

项 目	生长指标	平方和	自由度	均 方	F 值	显著性
氮水平	苗高增量	71.47	2	35.73	2.64	0.092
	地径增量	0.08	2	0.04	2 827.09	0.000**
	高径比	7 748.18	2	3 874.09	11.60	0.000**
	根冠比	0.47	2	0.23	6.82	0.005**
	苗木质量指数	2.11	2	1.06	6.31	0.006**
水分梯度	苗高增量	1 599.11	3	533.04	39.36	0.000**
	地径增量	0.13	3	0.04	3 149.59	0.000**
	高径比	12 471.37	3	4 157.12	12.45	0.000**
	根冠比	0.49	3	0.16	4.75	0.010*
	苗木质量指数	15.39	3	5.13	30.66	0.000**
氮水平×水分梯度	苗高增量	192.88	6	32.15	2.37	0.061
	地径增量	0.14	6	0.02	1 645.30	0.000**
	高径比	2 756.22	6	459.37	1.38	0.265
	根冠比	0.68	6	0.11	3.32	0.016*
	苗木质量指数	2.11	6	0.35	2.10	0.091

注:**:$p<0.01$;*:$p<0.05$。

3.1　不同处理对苗高的影响

苗高是最直观、最容易测定的形态指标,也是反映苗木质量的重要因子之一。多重比较检验显示,不同水分梯度间的苗高增量均有显著差异($p<0.05$)。苗高增量(图 1)显示,水分梯度在 5%～25%的范围内,各个氮水平上的苗高增量随着土壤含水量的增加而增大;当含水量为 30%时,未施氮和高氮苗木的苗高增量减小,低氮苗木则略有增加。

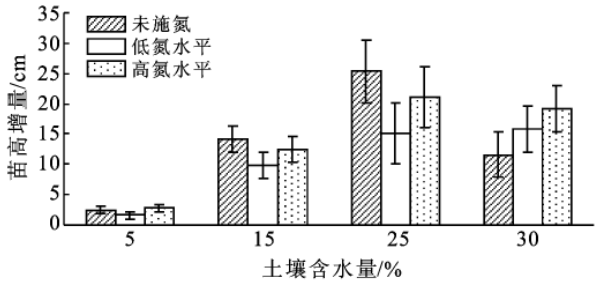


图 1　不同处理条件下的苗高增量

不同氮水平对苗高增量虽无显著影响,但从图 1 中可看出,水分梯度在 5%～25%范围内,相比未施氮苗木,氮肥在一定程度上有抑制苗高的作用,这与付玉嫔等[12]的研究结果一致,且低氮的抑制作用较高氮明显。在 30%水分梯度上,氮肥则促进苗高生长,且随施氮量的增加而增加。从苗高相对增量来看(表 1),在 5%,15%,25%的水分梯度上,和未施氮苗木相比,低氮对苗高增量的减少分别为 36%,30%,40%;高氮仅在 15%和 25%的水分条件下抑制苗高生长,和未施氮苗木相比,氮肥对苗高增量的减少分别为 12%和 17%。

3.2　不同处理对地径的影响

地径是反映苗木质量的重要指标之一,较可靠地反映了苗木质量。多重比较检验显示,不同氮水平间,不同水分梯度间的苗木地径增量均有显著差异($p<0.01$)。从图 2 可以看出,氮肥施用显著地增加了苗木地径,这与王慧娟等[13]的研究结果一致。

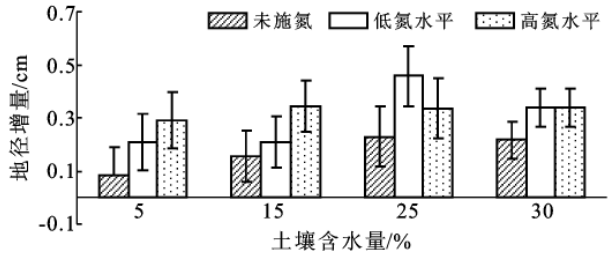


图 2　不同处理条件下的地径增量

在 5%,15%的水分梯度上,地径增量随着施氮量的增加而增大;在土壤水分含量为 25%时,低氮水平上的地径增量大于高氮;在土壤含水量为 30%时,不同施氮量对苗木地径的增量基本相同。从地径相对

增量的百分比来看，在 5%～30%水分梯度上，低氮对地径增量的增加量分别比未施氮的高 157%，35%，99%，57%，高氮对地径增量的增加量分别比未施氮的高 259%，123%，46%，57%。

3.3 不同处理对苗木高径比的影响

高径比反映了苗木高度和粗度的平衡关系，将苗高和地径有机地结合起来。多重比较检验表明，未施氮苗木和高氮、低氮苗木的高径比有显著差异（$p<0.01$），而低氮与高氮间的苗木高径比无显著差异。5%水分梯度与其他水分梯度上的苗木高径比均有显著差异（$p<0.01$），而 15%与 25%，15%与 30%以及 25%与 30%水分梯度上的苗木高径比无显著差异。

不同处理条件下的高径比（图 3）显示，在各个水分梯度下，氮肥的施用均减小了苗木高径比。虽然不同施氮量的苗木高径比无显著差异，但从图 3 中仍可以看出，5%，15%水分梯度上，高径比随施氮量的增大而减小；在 25%，30%水分梯度上，低氮对高径比的减少量较高氮大。不同氮水平对不同水分梯度上的苗木高径比减少量不同，其中减小量最多的是低氮、25%水分梯度上的苗木高径比，减小值为 26.7，为未施氮苗木高径比的 36.2%；其次是 5 %水分梯度上的苗木高径比，高氮、低氮条件下的高径比减少量分别为未施氮的 30%和 23.4%。

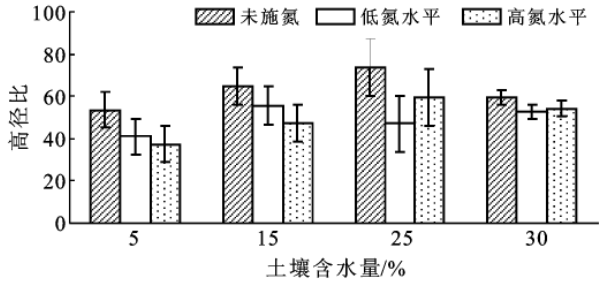


图 3 不同处理条件下的苗木高径比

3.4 不同处理对根冠比的影响

对于地上部分与地下部分的相关性常用根冠比来衡量，它能反映植物的生长状况，以及环境对地上部分和地下部分生长的不同影响。多重比较检验显示，在不同氮水平上，未施氮与高氮水平上的苗木根冠比有显著差异（$p<0.01$）；在不同水分梯度上，仅 15%水分梯度与其他水分梯度上的苗木根冠比有显著差异（$p<0.01$）。不同处理条件下的根冠比（图 4）显示，高氮减小了各水分梯度上的苗木根冠比，这与陈琳等[14]的研究一致，水分含量从低到高，减少百分比分别为未施氮苗木的 18.8%，25.7%，55.1%，46.4%；低氮对根冠比的作用则不一致，5%，30%水分梯度上减小了苗木根冠比，15%，25%水分梯度上则增加了苗木根冠比。

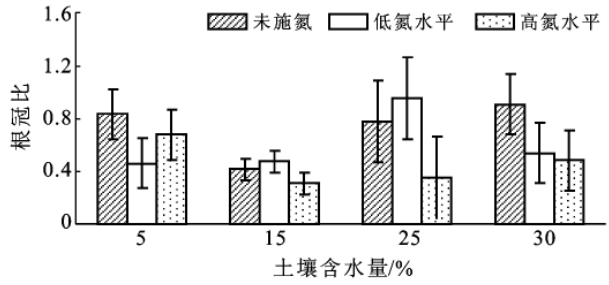


图 4 不同处理条件下的根冠比

3.5 不同处理对苗木质量指数的影响

由于单个形态指标常常只反映苗木的某个侧面，而苗木各部分之间的协调和平衡对造林成活和初期生长又十分重要，因而采用多指标的综合指数—苗木质量指数（QI）来反映苗木质量。其计算公式为：

苗木质量指数（QI）= 苗木总干重 g/〔（苗高 cm/地径 mm）+（径干重 g/根干重 g）〕

多重比较显示，在不同氮水平上，高氮水平与未施氮、低氮水平的苗木质量指数分别在 0.01，0.05 水平上有显著差异，而未施氮与低氮水平的苗木质量指数则无显著差异；在不同水分梯度上，除 5%与 15%水分梯度上的苗木质量指数无显著差异外，其余水分梯度上的苗木质量指数均有显著差异（$p<0.01$）。不同处理条件下的苗木质量指数（图 5）表明，土壤含水量是苗木质量指数的主要限制因子，在不同水分梯度上，25%水分梯度上的苗木质量指数最大，其次是 30%水分梯度上的苗木质量指数，5%与 15%水分梯度上的苗木质量指数均较低。

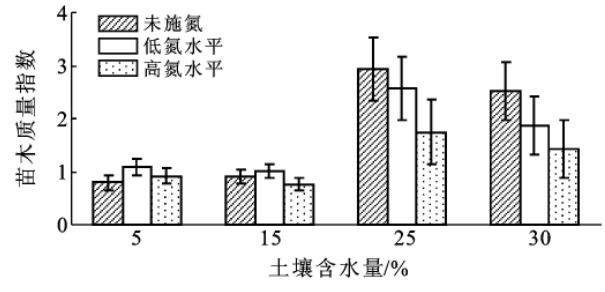


图 5 不同处理条件下的苗木质量指数

不同氮水平上，当土壤含水量为 5%，15%时，低氮提高了苗木质量指数，其增量分别为相应水分梯度上未施氮苗木的 36.7%和 11.8%；高氮对苗木质量指数的影响作用不一致，5%水分梯度上增加苗木质量指数，15%水分梯度上则减小苗木质量指数。在 25%，30%水分梯度上，氮肥的影响作用则较为一致，

它们均减小了苗木质量指数,且随施氮量的增加而减小。

4　讨论与结论

在苗木的生长期内,适宜的土壤水分和养分是保证苗木正常生长的重要条件,水分、养分过多或过少都会对苗木的生长造成影响[15-16]。水分是苗木生长的基本条件,在本试验中,水分对所有生长指标均有显著影响;氮肥作为另一控制因素,除对苗高增量外的其他生长指标均有显著影响;水氮交互仅对地径增量和根冠比有显著影响。

对苗高增量而言,水分梯度在 5%～25%范围内,氮肥对苗高有抑制作用,原因可能是,较低土壤含水量条件下,氮肥降低了土壤水分溶质势,增加了植物吸收水分的难度,导致苗高增量减小,当土壤含水量达到 30%时,水分充足,氮肥对苗高生长则起到促进作用。

地径作为衡量苗木等级的重要指标,与苗木抗逆性紧密相关[17],在苗龄不太大的情况下,地径与造林成活率呈正相关,地径越大则苗木质量越好[15]。本试验中,地径增量较好地反映出对苗木对水、氮变化的响应。氮肥显著增大了各个水分梯度上的苗木地径,相对增量在 5%水分梯度上的提高是最多的,原因可能是,在土壤含水量较低时,苗木地上部分的光合产物多用于地下根的生长,以满足植物吸收更多的水分,而氮肥施用对苗木地下部分生长的促进作用加强,从而增大苗木地径。

高径比是反映苗木抗性及造林成活率的较好指标[16]。一般来说,高径比越大,苗木越细越高,抗性弱,造林成活率低;高径比越小,苗木则越粗矮,抗性越强,造林成活率越高。本试验中,氮肥减小了各个水分梯度上的苗木高径比,表明氮肥能提高苗木抗性,增强苗木逆境生长的能力,从而提高苗木在干旱条件下的造林成活率。

氮素对植物的根冠生长具有调控作用[18],在一定范围内可以促进植物根系生长,但对地上部分的生长促进作用更为明显[19]。本试验中,高氮减小了各水分梯度上的苗木根冠比;而低氮对各水分梯度上的根冠比的影响没有较为一致的规律,原因可能是在不同水分梯度上的水氮耦合作用不同。

苗木质量指数是反映苗木质量的综合指标。本试验中,低氮增加了 5%,15%水分梯度上的苗木质量指数,且 5%水分梯度上的苗木质量指数较大,这是岷江柏对干旱环境适应的体现,在较低水分梯度上氮肥的施用起到了以肥补水的作用。在 25%,30%水分梯度上,氮肥的施用使苗木质量指数减小,且减少量随施氮量的增加而增加,分析其原因可能是,岷江柏作为岷江流域干旱河谷区的乡土树种,对干旱贫瘠的恶劣环境已产生了相应的适应机制,在干旱条件下,氮肥能提高苗木质量指数,而在土壤含水量较高时,施用氮肥反而使苗木质量指数降低。

氮素是植物生长不可缺少的重要元素,对植物体各部位的生长有着不同程度的影响。从各生长指标总体来看,在干旱条件下,增施氮肥能促进岷江柏幼苗的生长,在一定程度上缓解苗木因水分不足而导致的生长受抑,达到以肥补水的效果,增强苗木逆境生长能力,提高苗木在干旱区造林的成活率。对同一生长指标,随土壤含水量的变化,高、低氮水平上的变化规律不一致,或者仅在一定的土壤含水量范围内有一致的规律等等,对这些问题的解释则需要从苗木的生理结构等方面进行更深入的研究。

[参 考 文 献]

[1] 包维楷,王春明. 岷江上游山地生态系统的退化机制[J]. 山地学报,2000,18(1):57-62.

[2] 刘兴良,慕长龙,向成华,等. 四川西部干旱河谷自然特征及植被恢复与重建途径[J]. 四川林业科技,2001,22(2):10-17.

[3] 何永华,包维楷. 干旱半干旱区山地土壤水分动态变化[J]. 山地学报,2003,21(2):149-156.

[4] 彭闪江,黄忠良,彭少麟,等. 植物天然更新过程中种子和幼苗死亡的影响因素[J]. 广西植物,2004,24(2):113-121.

[5] Sánchez-Coronado M E, Coates R, Castro-Colina L, et al. Improving seed germination and seedling growth of *Omphalea oleifera* (Euphorbiaceae) for restoration projects in tropical rain forests[J]. Forest Ecology and Management, 2007,243(1):144-155.

[6] 徐海军,孙广玉,张悦,等. 不同氮素形态比例对五味子幼苗生长特性的影响[J]. 植物研究,2010,30(1):51-56.

[7] 司东霞,崔振岭,胡树文,等. 控释氮肥不同用量对移栽玉米幼苗生长及养分吸收的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2010,16(6):1492-1496.

[8] 李世峰,刘蓉蓉,朱从海,等. 氮肥运筹对超级稻生长和产量的影响[J]. 安徽农业科学,2009,37(2):705-707.

[9] 李学刚,孙学振,宋宪亮,等. 控释氮肥对棉花生长发育及产量的影响[J]. 山东农业科学,2009(6):79-81,98.

[10] 黄云,廖铁军,王正银,等. 控释氮肥对莴苣生长及氮肥利用率的影响[J]. 土壤肥料科学,2006,22(2):219-222.

[11] 严代碧,岳永杰,郑绍伟,等. 岷江上游干旱河谷区土壤水分含量及其动态[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2006,30(4): 64-68.

(下转第 53 页)

根据国家级耕地土壤监测数据显示，北方潮土土壤速效钾平均含量 153 mg/kg。玉米—大豆间作和小麦—棉花轮作的土壤速效钾含量低于平均值 153 mg/kg，适当增施钾肥能进一步增加玉米、大豆、小麦和棉花的产量。其他种植方式土壤速效钾含量均较高，尤其是西瓜—棉花套种方式的最高为 292.1 mg/kg，比平均值高近 1 倍，因此西瓜—棉花套种方式下，根据作物对钾的需求特点，可以减少钾肥的使用，但西瓜或棉花对钾肥的需求特点需要做进一步的研究。

3　结 论

（1）从调查资料来看，典型区域的作物种植方式主要有小麦—玉米轮作、小麦—棉花轮作、西瓜—棉花套种、玉米—大豆间作和春玉米单作 5 种。其中，小麦—玉米轮作和小麦—棉花轮作是主要的种植方式，春玉米单作是最不常见的种植方式。

（2）土壤有机质以及有效氮磷钾的含量均能满足农作物生长要求。土壤碱解氮含量最高值为 70.2 mg/kg，应适当增施氮肥；玉米—大豆间作和小麦—棉花轮作土壤速效钾含量分别为 102.3 和 137.8 mg/kg，低于作物所需含量 153 mg/kg，可增加钾肥的施用量；西瓜—棉花套种的速效钾为 292.1 mg/kg，应减少钾肥的施用。

（3）土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾受种植方式的影响都极其显著，其中西瓜—棉花套种方式下 4 种养分含量值均为最高，玉米—大豆间作和小麦—棉花轮作 2 种方式养分含量较低。从调查资料和土壤氮磷钾含量的分析来看，氮肥施用量过少，磷肥施用量过多，应当适当调整不同种植方式下的施肥状况。

［参 考 文 献］

［1］ 李新举，胡振琪，刘宁，等. 黄河三角洲土壤肥力质量的时空演变：以垦利县为例［J］. 植物营养与肥料学报，2006，12(6)：778-783.

［2］ 邹彦岐，乔丽. 国内外土地利用研究综述［J］. 甘肃农业，2008(7)：51-53.

［3］ 张雪梅，吕光辉，杨晓东，等. 农田耕种对土壤酶活性及土壤理化性质的影响［J］. 干旱区资源与环境，2011，25(12)：177-182.

［4］ 陈福兴. 不同轮作方式对培肥地力的作用［J］. 土壤通报，1996，27(2)：70-72.

［5］ 孙永丽，梅再美. 贵阳市白云岩地区不同种植方式对土壤物理性质的影响［J］. 贵州师范大学学报：自然科学版，2006，24(2)：27-31.

［6］ 高雪松，邓良基，张世熔，等. 不同利用方式与坡位土壤物理性质及养分特征研究［J］. 水土保持学报，2005，19(2)：53-60.

［7］ 张国印，王丽英，孙世友，等. 土地利用方式对土壤质量性状的影响［J］. 河北农业科学，2004，8(1)：1-5.

［8］ 王红丽，张绪成，宋尚有. 半干旱区旱地不同覆盖种植方式玉米田的土壤水分和产量效应［J］. 植物生态学报，2011，35(8)：825-833.

［9］ 王洪杰，李宪文，史学正，等. 不同种植方式下土壤养分的分布及其与土壤颗粒组成关系［J］. 水土保持学报，2003，17(2)：44-50.

［10］ 张金波，宋长春. 三江平原不同种植方式对土壤理化性质的影响［J］. 土壤通报，2004，35(3)：371-373.

［11］ 常凤来，田昆. 不同利用方式对纳帕海高原湿地土壤质量的影响［J］. 湿地科学，2005(2)：132-135.

［12］ 赵庚星，李秀娟，李涛，等. 耕地不同利用方式下的土壤养分状况分析［J］. 农业工程学报，2005，21(10)：55-58.

［13］ 许联芳，王克林，朱捍华，等. 桂西北克斯特移民区种植方式对土壤养分的影响［J］. 应用生态学报，2008，19(5)：1013-1018.

［14］ 杨长明，欧阳竹. 华北平原农业种植方式对土壤水稳性团聚体分布特征及其有机碳含量的影响［J］. 土壤，2008(1)：100-105.

［15］ 张心昱，陈利顶. 农田生态系统不同种植方式与管理措施对土壤质量的影响［J］. 应用生态学报，2007，18(2)：303-309.

［16］ 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法［M］. 北京：中国农业科技出版社，2000：95-130.

（上接第 49 页）

［12］ 付玉嫔，徐亮，孟广涛，等. 施用氮、磷肥对旱冬瓜苗木生长的影响［J］. 西部林业科学，2008，37(2)：25-28.

［13］ 王慧娟，孟月娥，赵秀山，等. 不同施肥水平对茶条槭生长及光合生理特性的影响［J］. 植物营养与肥料学报，2008，14(5)：1023-1026.

［14］ 陈琳，曾杰，徐大平，等. 氮素营养对西南桦幼苗生长及叶片养分状况的影响［J］. 林业科学，2010，45(5)：35-40.

［15］ 孙时轩. 造林学［M］. 2 版. 北京：中国林业出版社，1990.

［16］ 刘勇. 苗木质量调控理论与技术［M］. 北京：中国林业出版社，1999.

［17］ Lauer D K. Seedling size influences early growth of longleaf pine［J］. Tree Planters Notes，1987，38(3)：16-17.

［18］ 任书杰，张雷明，张岁歧，等. 氮素营养对小麦根冠协调生长的调控［J］. 西北植物学报，2003，23(3)：395-400.

［19］ Hawklns B J，Henry G，Kiiskila S B R. Biomass and nutrient allocation in Douglas-fir and amabilis fir seedlings：influence of growth rate and nutrition［J］. Tree Physiologist，1998，18(12)：803-810.