

山区气候的立体性与农林牧的分层模式^{*}

王 菱

(中国科学院 自然资源综合考察委员会 北京 100101)
国家计划委员会

摘 要 对华北山区年平均温度和年降水推算的基础上, 计算山区自然植被净第一性生产力的垂直分布, 结合山区开发对象或作物的生物学指标, 建立单因子和综合因子分层开发模式。华北山区分层种植模式一般分 3~4 层: 1~2 层(下中层)为农粮层, 3~4 层(中上层)为经济林和用材林层。山区综合开发利用方向是巩固下层, 保护上层, 重点开发利用中层的立体化模式。

关键词 山地气候 立体性 分层模式

分 类 中图法 S162.5 F323.212

1 问题的提出

随着社会发展和人口增加, 人类活动不断由平原向山区流动, 山区得到了开发。与平原相比, 由于山脉走向、坡向和海拔高度的影响, 造成山区气候的立体性、多样性、多宜性和脆弱性, 因此, 在山区资源开发利用中, 必须考虑到山区气候的分布特点, 建立与其相应的、相互协调的不同生产体系是非常重要的。根据山区气候的立体分布特点, 因地制宜发展农、林、牧生产和多种经营, 是合理开发山区和保护生态环境的一条重要原则。

本文以华北山地(包括太行山、冀北辽西山区、山东丘陵、阴山)为例, 讨论山区立体气候和自然植被净生产力的分布特点, 研究山区农林牧的分层模式, 为合理开发山区提供依据。

2 山区农林牧分层开发主导因子选择

山区农林牧分层开发, 涉及众多研究领域。以山区气候的立体性和研究目的为依据, 应研究以下内容:

(1) 确定充分揭示立体农业布局的内在联系及其潜在能力的农业气候变量作为主导因子, 在众多气候变量中, 以年平均气温和年降水量最为重要。

(2) 在未经人类活动影响的山区, 表征生产能力的重要指标是自然植被净第一性生产力, 它比较真实反映一个地区的地理环境和生态系统相协调的发展, 是山区开发可靠依据之一。

^{*} 中国科学院“八五”重点项目(Z重点-001)资助

收稿日期: 1996-06-10, 收到修改稿日期: 1997-03-18

(3) 针对当前农业生产的主要问题和对象, 选定相应的农业气候指标, 建立该指标随海拔高度变化模式, 划分分层界限。在同一层次内的农业生产具有相似性, 开发利用途径基本相同, 不同层次的农业生产则具有较大的差异。

(4) 在冬季以辐射降温为主的山区, 逆温的厚度对农业生产具有重要作用, 充分利用逆温形成的“暖带”, 如云南西双版纳的橡胶树、新疆天山地区的苹果树都被种植在山坡的“暖带”中, 取得了巨大的经济效益。本文所讨论的华北山区, 因冬季辐射逆温不甚明显, 且多年生作物一般都能安全越冬, 故辐射逆温暂不予考虑。

(5) 经济因素, 考虑市场需求, 以较小的代价, 取得较大的经济效益。

下文将主要讨论前面三个主导因子。

3 山区气候学方程的建立

山区气候的立体性, 主要表现在气候要素随高度的变化上。对生态系统而言, 年平均气温和年降水量是影响山区农林牧分层的两个主要因子。由于山区地形复杂, 缺少实测资料, 在实际生产应用中, 主要通过建立山区气候学方程, 来进行资料的推算。

3.1 山区温度场方程的建立

山区温度场的气候学方程可表述为 $T = T(\Psi, \lambda, h, T_g)$ 的函数^[1], 即山地任意一点的温度 T 是地理纬度 (Ψ)、经度 (λ)、高度 (h) 和地形订正项 (T_g) 的函数, 在一阶方程中可写为

$$T = a_0 + a_1\Psi + a_2\lambda + a_3h + T_g \quad (1)$$

式中 T 为年平均温度 ($^{\circ}\text{C}$), a_0 为常数项, a_1, a_2, a_3 为偏回归系数, 单位分别为 $\partial T / \partial \Psi (^{\circ}\text{C} / ^{\circ})$, $\partial T / \partial \lambda (^{\circ}\text{C} / ^{\circ})$ 和 $\partial T / \partial h (^{\circ}\text{C} / 100 \text{ m})$, 反映了温度场随地理因子的变化率, T_g 为地形订正项, 可认为山区的局地地形如下垫面状况等因子引起的温度变化。本文从山区的立体性出发, 着眼点是气温随海拔高度的变化, 地形订正项 T_g 可忽略不计, 式 (1) 可改写为

$$T = a_0 + a_1\Psi + a_2\lambda + a_3h \quad (2)$$

利用 (2) 式和华北山区气象站 (其中太行山 56 个, 冀北辽西 37 个, 山东丘陵 37 个, 阴山 9 个), 分山区建立温度场的年平均气温方程, 它们分别是:

$$T_{\text{太}} = 37.7835 - 0.5673\Psi - 0.3414\lambda - 0.591h \quad r = 0.986 \quad (3)$$

$$T_{\text{冀}} = 70.8711 - 0.0844\Psi - 0.4804\lambda - 0.695h \quad r = 0.974 \quad (4)$$

$$T_{\text{山}} = 70.1504 - 0.1136\Psi - 0.4462\lambda - 0.547h \quad r = 0.968 \quad (5)$$

$$T_{\text{阴}} = 71.47 - 0.6969\Psi - 0.2722\lambda - 0.666h \quad r = 0.986 \quad (6)$$

(3) ~ (6) 式表明, 各山区温度递减率是不同的, 在纬度和经度相同的情况下, 每上升 100 m, 温度相应下降 0.59、0.70、0.55 和 0.67。

3.2 山区雨量场方程的建立

与温度场相比, 山区雨量随高度变化要复杂得多, 由于山区所处的地理位置、离海远近、山脉走向、坡向、盛行气流来向和海拔高度等不同地理特征影响, 降水不仅随地方海拔高度也随宏观地理高度变化。

3.2.1 降水随地方海拔高度变化 降水随地方海拔高度变化是指在小区域范围内的垂直变化, 根据降水随高度变化率, 把华北山区分为 14 个降水特征区, 分区建立雨量场方程^[2]。计算结果表明: 其中 11 个区降水随高度的增加率 ($\partial R / \partial h$) 在 20 mm ~ 120 mm/100 m, 但有 3 个区为负值, 它们是 (1) 燕山和努鲁儿虎山的背风坡; (2) 冀北辽西山区的西段和阴山的东段; (3) 阴山的东段和西段, 降水的变化率 ($\partial R / \partial h$) 分别为 - 29.6 mm/100 m, - 18.4 mm/100 m, - 15.1 mm/100 m, 究其原因, 这是因为在广阔的山区中分布着较少的站点, 在建立雨量场方程时, 数据代表性受到影响, 同时, 经度变化也起着重要作用, 即区域宏观地理高度对降水的影响超过地方海拔高度。

3.2.2 降水随区域宏观地理高度的变化 区域宏观地理高度一般是指高度随经向的变化, 地方海拔高度隐含于其中, 这是由其特定的地理环境决定的。华北山区东临海洋和华北平原, 西靠黄土高原和内蒙古高原, 海拔高度自东向西逐渐升高, 降水分布则反之, 如在纬度相近的华北山区东部 (冀北辽西山区) 平均高度为 398.5 m, 年降水为 800 mm ~ 900 mm, 到比较干旱的西部 (阴山) 平均高度为 1 203.9 m, 年降水量为 300 mm ~ 400 mm, 降水随宏观区域高度的升高而降低, 上述提到的 3 个区恰在此范围内。

本文分层的主要依据是降水随地方海拔高度的变化。

4 山区自然植被净第一生产力的分布

4.1 模型的比较与计算

自然植被净第一性生产力 (Net Primary Productivity) 是指在单位时间内、单位面积, 由光合作用所产生的有机物质总量, 扣除自养呼吸后的剩余部分。自然植被净第一性生产力 (NPP) 是地理环境诸因素的综合反映, 比较可靠地表征一个地区的地理环境与生态系统达到的协调发展, 也是生态系统中物质能量转换和生态系统生产力评价的基础。

近年来自然植被净第一性生产力 (NPP) 的研究倍受重视, 尤其在国际生物学计划 (IBP) 期间, 进行了许多 NPP 测定。以测定资料为基础, 并联系环境因子建立的模型, 可以对 NPP 的区域和全球分布进行研究, 也可以用于全球气候变化和生产力的评价。

目前, 主要有五个 NPP 模型被广泛应用, 它们是: (1) 迈阿密 (Miami) 模型^[3]; (2) 桑斯威特-纪念 (Tthornthwaite- memorial) 模型^[4]; (3) 叶菲莫娃 (Efimova) 模型^[5]; (4) 筑后 (Chikugo) 模型^[6]; (5) 北京模型^[7]。这些模型的建立都是以气候资料为控制因子, 也就是说: 在自然条件下, 自然植被净生产力主要受气候因子影响。前两个模型的输入变量为年平均气温和年降水量, 后三个则为年辐射平衡和年辐射干燥度。用桑斯威特-纪念模型与其它 4 个模型计算结果进行比较, 结论是除模型 (3) 数值偏大外, 其它模型结果相近。

经过比较, 选用模型 (2) 即桑斯威特-纪念模型来计算山区的 NPP, 因它只利用年平均气温和年降水量两个简单变量, 适于在地形复杂的山区应用; 它又与蒸散联系起来, 具有一定的理论基础, 表达式如下:

$$NPP_V = 3\,000(1 - e^{-0.000\,969\,5(V-20)}) \quad (7)$$

式中 NPP_V 是以实际年蒸散量计算得到 NPP 值 ($g/m^2 \cdot a$), V 为年实际蒸散量, 可用下式计算

$$V = \frac{1.05R}{1 + \left[\frac{1.05R}{E} \right]^2}$$

(8)

式中 R 为年平均降水量 (mm), E 为年最大蒸散量 (mm), 它是年平均温度 (t) 的函数。

$$E = 300 + 25t + 0.05t^3$$

(9)

只有 $R > 0.316V$ 时, (8) 式才适用, 当 $R < 0.316V$ 时, 则 $V = R$ 。

该模型的最后输入变量是实际蒸散量 E , 蒸散量可把水、热指标综合地联系在一起, 比较客观地反映气候的实际情况。同时蒸散量包括植株间的土壤蒸发和冠层蒸腾, 蒸腾与植被的光合作用密切相关: 通常蒸散量大, 光合作用强, 植被生产力高, 即蒸散量与植被净第一性生产力 (NPP) 具有正相关关系。

4.2 山区 NPP 的垂直分布

利用前面建立的气温、雨量场方程和式 (9 ~ 7) 计算山区 NPP 的垂直分布。在气温和降水综合的作用下, NPP 首先随高度增加, 然后再随高度降低, 呈抛物线形变化。抛物线的顶点, 即自然植被最大生产力—— $NPP_{(max)}$, 其高度是位于在温度和降水最佳偶合的某一高度。表 1 列出泰山、五台山和大青山的 $NPP_{(max)}$ 值和其高度及相应的气温、降水推算值。

表 1 不同山区 $NPP_{(max)}$ 值和高度分布

Tab. 1 The distribution hight of $NPP_{(max)}$ in defferent mountainous regions

山区	海拔高度 (m)	经纬度概查		$NPP_{(max)}$ (t/ha·a)	$NPP_{(max)}$ 高度 (m)	年平均气温 ()	年降水量 (mm)
		东经	北纬				
泰 山	1 524	117 06	36 15	11.5 ~ 12	100 ~ 400	10.5 ~ 11.0	750 ~ 900
五台山	3 058	113 32	39 02	8.5 ~ 9	800 ~ 1 400	8.5 ~ 9.5	500 ~ 700
大青山	2 338	109 30	40 40	6.5 ~ 7	1 600 ~ 1 800	3.5 ~ 4.0	350 ~ 450

图 1 是华北三座主峰的 NPP 随高度变化的分布图。如果把图 1 比拟为方位图, 那么, NPP 分布自东南向西北依次减少, $NPP_{(max)}$ 的高度则由东南向西北依次升高, 随着向内陆伸入, 干旱程度增加, $NPP_{(max)}$ 高度上移。

5 山区立体农业的分层开发模式

5.1 单因子的分层开发模式

根据不同山区存在的农业生产问题和开发的对象, 选定相应的农业气象指标, 建立该指标随海拔高度的变化模式, 划分分层界限。对山区来说, 垂直方向温度较小的变化, 会导致生态系统的较大变动, 因此采用年平均气温作为分层开发指标是可行的。

不同作物所要求的温度是不同的, 但同一种作物在不同地区完成其本身生长发育周期, 所要求的热量条件基本上是一致的。表 2 列出部分作物对年平均温度下限的要求, 以此作为分层依据, 对华北山区主要水果种植上限高度进行初步分析。

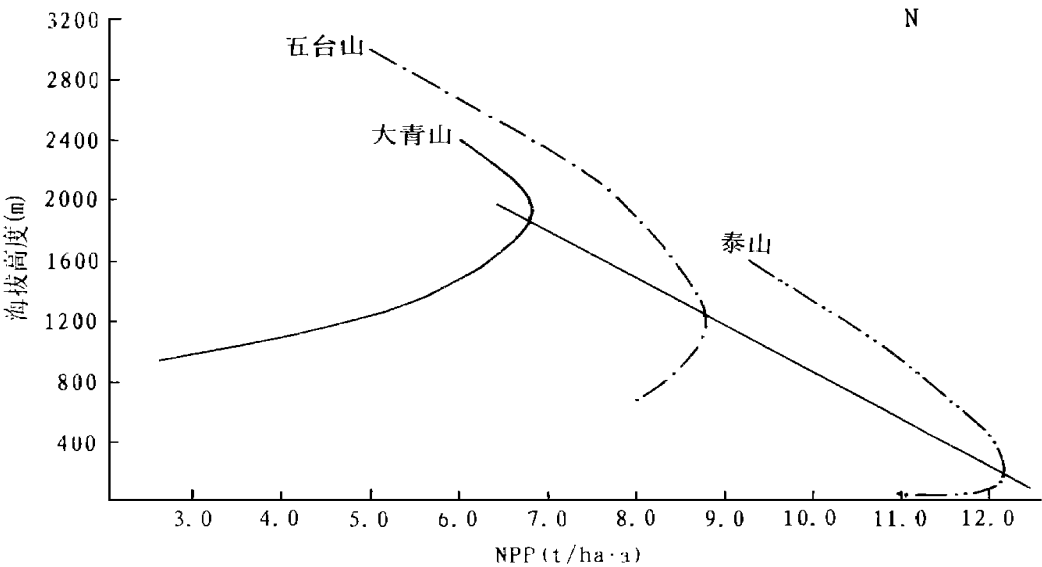


图 1 不同山区 NPP 随高度的分布

Fig.1 The distribution of NPP with hight in defferent mountainous regions

表 2 不同植被类型和种植制度要求的温度下限

Tab.2 The temperature low limit by different vegetation types and growing systems demanded

植被类型和种植制度	年平均温度下限 ()	植被类型和种植制度	年平均温度下限 ()
针叶林	- 2.4	冬小麦、苹果、梨、葡萄、桃等	7.0
云杉林	- 0.7	棉花	8.3
春小麦	- 0.3	暖温带北界	9.0
针阔叶混交林	3.0	稳定两年三作、柿、核桃、板栗	9.4
混交林与阔叶林分界	5.3	一年两作上限	12.6

华北山区是我国温带水果的主要产区，盛产苹果梨、杏，苹果、梨、桃、葡萄，柿、核桃、板栗等，就其对温度条件要求来说，苹果、梨、桃、葡萄对温度的要求高于苹果梨、杏，但低于柿、核桃、板栗等，因此需要分层种植。与平原相比，山区种植水果不仅需划分北界、南界，也需划分上界、下界。作物种植界限不仅取决于一地的光、热、水等自然条件，也取决于土壤肥力和社会经济条件，但在自然和社会经济条件等诸因素中，热量条件显然是作物种植界线的首要因素，下面就其在华北山区种植最多，分布最广，最具温带水果特色的苹果，在华北山区的种植上限高度界限作一简要概述。

对于多年生果树来说，不仅要求可以安全越冬的冬季温度，而且也要求适中的夏季温度，因为这是决定果实品质如色泽、果型、含糖量、和风味的的主要因素，即果树的品质与温度密切相关，研究结果表明，优质苹果分布在年平均温度为 8 ~ 12 的范围内^[8,9]，考虑到山区较强的光照和利用山坡种植的特点，可把最适年平均温度下限降为 7 。根据式 (2) 求算相应山区苹果种植上限高度

$$h = (a_0 - a_1\psi - a_2\lambda - T_g - 7.0) / a_3$$

(10)

式中 $a^0、a^1、a^2、a^3$ 为系数， ψ 为纬度， λ 为经度， h 为所求的种植上限高度 (m)，也

称为气候种植高度, 这仅是从热量方面加以考虑。由于小气候、生产管理和作物品种等因素的差异, 如同属苹果中的“富士”品种, 其耐寒程度低于“国光”; 因此其种植高度还有一个偏差的变化, 应为 $h + \Delta h$ 。

从以上分析, 山东丘陵除泰山和沂蒙山区的部分地区外, 绝大部分是我国优质苹果种植区, 也是产量最高的地区之一, 阴山山系由于海拔高度较高, 除极少数地区可种植外, 绝大部分地区是不适宜种植的, 因此下面将讨论太行山系和冀北辽西山系的种植高度, 其特点如下:

(1) 苹果种植上限高度随着纬度增加而逐渐降低, 在太行山南段的焦作、晋城等地苹果种植上限高度(简称上限高度, 下同)可达 900 m 左右, 太行山中段的黎城、平顺等地上限高度为 600 m 左右, 在太行山北段的平山、阜平等地为 450 m 左右; 冀北辽西山系的怀柔、门头沟、延庆等地种植上限高度为 700 m 左右, 在纬度较高的阜新、北票、朝阳为 300 m 左右;

(2) 苹果种植上限高度随着经度增加逐渐降低, 太行山西侧的汾河河谷种植上限可达 800 m 左右, 太行山东侧种植高度在 500 m ~ 600 m, 冀北辽西山系西段可达 600 m ~ 700 m, 东侧约 300 m 左右。

5.2 综合分层开发模式

山区的层带性不仅表现在气候带的划分上, 也表现在植被带的分层上, 就华北山区而言, 前者自下而上呈现暖温带- 中温带- 冷温带- 寒温带的垂直带谱, 后者自下而上为农田、果树- 次生灌草丛- 落叶阔叶林- 针阔混交林- 针叶林- 亚高山灌丛- 亚高山草甸带^[10, 11]。

根据山区气候和植被带的分布特点, 将 $\sum 10^\circ\text{C}$ 积温、无霜期 (N)、年降水量 (R)、年干燥度 (K) 和土壤、植被、年平均温度指标等要素的综合评判结果, 华北山区的农林牧分层种植模式一般分为 3~4 层: 1~2 层为粮农层, 3~4 层为经济林和用材林层, 表 3 是参考文献 [12] 的基础上, 进行深入研究综合而成。

5.3 山区立体的综合开发利用

根据山体立体性的分层特点, 对不同山区开发利用应有所侧重, 以太行山和燕山为例:

下层 (太行山为 100 m ~ 200 m, 燕山为 50 m ~ 100 m), 本层主要为丘陵, 其次为山间盆地, 土壤肥沃, 光热资源丰富, 虽然降水较少, 但灌溉条件便利, 农业以种植业为主。本层是人类活动最集中的地区, 多年来是人类开发的重点层次, 经验也较丰富。在下层的上部 (200 m ~ 500 m), 由于人口不断增加, 人类活动逐渐向上转移, 其开发程度也较高, 是果树发展主要层次。

中层: 海拔 500 m ~ 800 m 之间, 本层属低山区的中下层, 地势起伏较大, 热量条件稍差, 但雨量较多, 是植被生产力较高的层次, 除山间盆地及山坡有灌溉条件发展粮食生产外, 应大力发展经济林木生产, 开发名、优、特产品, 利用草山草坡发展草食畜禽。

上层: 本层是低山区的上部, 地势高, 坡度大, 气候冷湿, 农业发展以林业为主, 大力发展用材林, 水源涵养林和药材生产, 实行保护性开发。

华北山区的开发利用方向应是巩固下层, 保护上层, 重点开发利用中层, 形成立体化的开发模式。

表 3 太行山燕山综合模式分层指标

Tab. 3 Synthetical dividing layer modle in Taihang Mountain and Yan Mountain

区类	层 次	作物熟制、林果状况	模式指标	分层指标 (年平均温度)	高度 (m)
燕山 北部	农业层	春小麦、杂粮 (一年一熟)	Σ 3100 ~ 3400	8. 5 ~ 7. 0	250 ~ 500
	林果层	林、果、牧	N 140 ~ 150	7. 0 ~ 5. 0	500 ~ 800
	林牧层	涵养林、药材	R 500 ~ 600	5. 0 ~ 2. 0	800 ~ 1200
	林业层	用材林	K 1. 2 ~ 1. 5	2. 0 ~ - 3. 6	1 200 ~ 2 000
长城 两侧	农业层	水稻、杂粮 (一年一熟、两年三熟)	Σ 3 400 ~ 3 700	9. 5 ~ 7. 5	200 ~ 500
	果林层	板栗、苹果、经济林	N 150 ~ 170	7. 5 ~ 4. 0	500 ~ 1 000
	林牧层	仁用杏、牧、药材	R 700 ~ 800	4. 0 ~ 0. 5	1 000 ~ 1 500
	林业层	风景林、用材林	$K < 1. 0$	0. 5 ~ - 3. 0	1 500 ~ 2 000
燕 山 低 山 丘陵区	农业层	水稻、小麦、杂粮 (一年一熟、一年两熟)	Σ 3 700 ~ 4 000 N 170 ~ 180	11. 0 ~ 7. 5	50 ~ 500
	果林层	板栗、核桃、苹果	R 600 ~ 700 K 1. 0 ~ 1. 2	7. 5 ~ 5. 5	500 ~ 800
	农业层	小麦、水稻 (一年一熟、两年三熟)	Σ 3 000 ~ 4 000	12. 0 ~ 9. 5	100 ~ 500
	农果层	杂粮、干鲜果品	N 130 ~ 180	9. 5 ~ 7. 5	500 ~ 800
太行山 北 段	林牧层	经济林、药材、畜禽	R 500 ~ 600	7. 5 ~ 5. 5	800 ~ 1 200
	林业层	薪炭林、用材林	K 1. 5 ~ 1. 6	5. 5 ~ < 0. 5	1 200 ~ 2 000 以上
	林牧农层	杂粮 (一年一熟)	Σ 3 000 ~ 3 500	7. 5 ~ 4. 5	1 000 ~ 1 500
		畜牧、防护林	N 130 ~ 160		
太行山 中山段	林业层	涵养林、用材林、药材	R 500 ~ 600 K 1. 3 ~ 1. 4	4. 5 ~ < 1. 5	1 500 ~ 2 000 以上
	农果层	小麦、棉花、杂粮、经济林	Σ 3 500 ~ 4 500	13. 0 ~ 11. 0	100 ~ 500
			N 160 ~ 200	11. 0 ~ 9. 0	500 ~ 800
	牧林层	灌木林、畜禽	R 500 ~ 700	9. 0 ~ 8. 0	800 ~ 1 000
太行山 低 山 丘陵区	林业层	水保林、薪炭林	K 1. 4 ~ 1. 5		

Σ 10 积温, N 无霜期 (天), R 年降水量 (mm), K 年干燥度, T 年平均温度。

参 考 文 献

1 王菱. 华北山区温度推算模式和应用. 自然资源学报, 1996, 11(2)

2 王菱. 华北山区年降水量的推算和分布特征. 地理学报, 1996, 51(2)

3 Lieth H. Primary production. Teerrestrial ecosystem, J. Human Eco., 1973, 1

4 Lieth H, Whittaker R H. Primary Productivity of the Bioshere. Springer- Verlag Berlin Heidelberg. New York, 1975

5 Efimova H A. 植被产量的辐射因子. 王炳忠译. 气象出版社, 1983

6 Uchijima Z, Seino H. Agroclimatic evaluation of net primary production of natural vegetation, (1) Chikugo model for evaluating net primary productivity. J. Agric. Met., 1985, 40(4)

7 朱志辉. 自然植被净第一性生产力估算模型. 科学通报, 1993, 38(15)

8 王菱. 黄土高原地区苹果品质气候区划. 中国农业气象, 1993 (6)

9 李世奎. 我国苹果种植区划研究. 山西果树, 1985(4)

10 河北森林编辑委员会编著. 河北森林. 中国林业出版社, 1988

11 山西森林编辑委员会编著. 山西森林. 中国林业出版社, 1992

12 程树林等主编. 太行山燕山气候考察研究. 气象出版社, 1993

THE THREE DIMENSIONAL CHARACTERS OF MOUNTAINOUS CLIMATE AND THE ZONES DIVIDING MODEL OF AGRICULTURE- FOREST- ANIMAL HUSBANDRY

Wang Ling

(Commission for Integrated Survey of Natural Resources, CAS, Beijing 100101)

Abstract

By taking the mountainous region of North China as an example, this paper established a zones dividing model of agriculture- forest- animal husbandry. The steps are as follows:

First, the calculating equations of annual mean temperature and annual rainfall amount were established. The calculation results indicate that when the height increases by 100 m, the temperature will decrease by 0.59 ~ 0.70 and the rainfall will increase by 20 mm ~ 120 mm, respectively.

Second, according to above the calculation results, the vertical distribution of Natural Vegetation Net Primary Productivity (NPP) was calculated, the results indicate that the distribution of NPP with height presents a parabolic curve. The maximum value of NPP i. e. $NPP_{(max)}$ appeared at the middle- lower mountain slope and the height of $NPP_{(max)}$ rises when drought increases.

Third, on the basis of biology, the zones dividing indexes were determined by single factor (temperature) and synthetical factors including cumulative temperature ($\sum 10^\circ$), annual rainfall amount (R), frost- free season (N), drought index (K) and annual mean temperature (T).

Finally, on the basis of above results, the zones dividing model was determined for mountainous regions of North China. In general, the model divides 3 ~ 4 zones: No. 1 ~ No. 2 zones are agriculture- grain crops zones and No. 3 ~ No. 4 are economic forests and commercial forests zone.

The policy should be to sustain the development in the lower zones, to protect the upper zones, and to develop the middle zones.

Key words mountainous climate, three dimensional characters zones, dividing model

作者简介

王 菱, 女, 1940 年 8 月生, 研究员。主攻研究方向为农业气象、小气候和气候变化。发表论文 30 余篇。